

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİRİNCİL SEVİYELİ ROCKWELL SERTLİK STANDARDI  
MAKİNESİ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS**

**Fizikçi Cihan KUZU**

**Anabilim Dalı: Mekatronik Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cüneyt OYSU**

**KOCAELİ, 2006**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİRİNCİL SEVİYELİ ROCKWELL SERTLİK STANDARDI  
MAKİNESİ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fizikçi Cihan KUZU**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 2006**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Temmuz 2006**

**Tez Danışmanı**

**Üye**

**Üye**

**Yrd.Doç.Dr.Cüneyt OYSU**

**Prof.Dr. Muharrem YILMAZ**

**Yrd.Doç.Dr. Yavuz SOYDAN**

(.....)

(.....)

(.....)

**KOCAELİ, 2006**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Ülkemizde bilim ve özellikle teknolojinin hızla gelişmesi ve daha hassas, daha doğru ve daha güvenilir ölçümlere duyulan ihtiyacın artması, belirsizliği düşük (yüksek doğruluklu) standartların oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Türkiye’de ölçümün referansı olan Ulusal Metroloji Enstitüsü’nün diğer alanlarda olduğu gibi sertlik alanında da birincil standartları kurma isteği doğrultusunda bu projeye başlanmış, ülkemizin Rockwell Sertliği’nde ulusal standardı olabilecek Sertlik Standardı Makinesi tasarımı ilk kez gerçekleştirilmiştir.

Bu konuda birlikte çalışma fırsatını bana sunan sayın Yrd. Doç. Dr. Cüneyt OYSU’ya (KO.Ü), makinenin tasarımını inceleyip değerlendiren ve onaylayarak beni cesaretlendiren meslektaşım Dr. Alessandro Germak’a (INRIM-İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü Sertlik Laboratuvarı Sorumlusu) en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması TÜBİTAK-UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) ‘de gerçekleştirilmiştir.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. SERTLİĞİN TANIMI VE SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Sertliğin tanımı.....	3
2.2. Sertlik ölçüm yöntemleri.....	4
2.2.1. Brinell sertliği.....	4
2.2.1.1. Brinell sertlik ölçümünün genel özellikleri.....	5
2.2.1.2. Brinell sertliğinin hesaplanması.....	6
2.2.2. Vickers-mikrovickers sertliği.....	7
2.2.2.1. Vickers-mikrovickers sertlik ölçümünün genel özellikleri.....	8
2.2.2.2. Vickers-mikrovickers sertliğinin hesaplanması.....	9
2.2.3. Knoop sertliği.....	10
2.2.3.1. Knoop sertlik ölçümünün genel özellikleri.....	11
2.2.3.2. Knoop sertliğinin hesaplanması.....	11
2.2.4. Shore sertliği.....	12
2.2.5. Irhd sertliği .....	13
3. ROCKWELL SERTLİK ÖLÇEĞİ .....	15
3.1. Tarihçe.....	15
3.2. Rockwell sertliği ölçüm prensibi.....	15
3.3. Rockwell sertlik ölçekleri.....	19
3.4. Rockwell sertlik değerinin tayini ve ifadesi.....	22
4. BİRİNCİL SEVİYELİ ROCKWELL SERTLİK STANDARDININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ (MAKİNENİN TASARIMI) .....	23
4.1. Kuvvetin oluşturulması.....	23
4.1.1. Uygun kuvvet kaynağı ve tasarımı.....	23
4.1.2. Kuvvetin uygulanması.....	26
4.2. Dalma derinliğinin ölçülmesi.....	27
4.3. Test döngüsünün oluşturulması.....	29
4.3.1. Test döngüsünün kuvvet-zaman ilişkisi açısından değerlendirilmesi.....	30
4.3.2. Test döngüsünün yol-zaman ilişkisi açısından değerlendirilmesi.....	36
4.3.3. Test döngüsünün Rockwell Sertlik Standardı Makinesi'nde oluşturulması....	38
4.4. Rockwell sertlik değerinin bulunması.....	41

5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR .....	46
EKLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	51

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Brinell Sertlik Ölçüm Prensi ve Meydana Gelen İzin Görünüşü.....	5
Şekil 2.2. Brinell sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü.....	6
Şekil 2.3. Vickers sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü.....	7
Şekil 2.4. Vickers-mikrovickers sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz gör.....	9
Şekil 2.5. Knoop sertliği elmas ucunun şekli.....	10
Şekil 2.6. Knoop sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü ve ölçümü.....	10
Şekil 2.7. Shore sertlik ölçüm prensibi.....	13
Şekil 2.8. Irhd sertlik ölçüm prensibi.....	14
Şekil 3.1. Rockwell sertliği ölçme prensibi.....	17
Şekil 3.2. Rockwell Sertlik Prensiğine göre HRC'ye ait kuvvet uygulama döngüsü.....	18
Şekil 3.3. Rockwell Sertlik Prensiğine göre HRC'ye ait ucun hareket döngüsü.....	18
Şekil 3.4. Ucu malzeme içindeki konumları.....	19
Şekil 4.1. Sertlik Standardı Makinası kütle seti, kuvvet uygulama sistemi.....	25
Şekil 4.2. Sertlik Standardı Makinası'nda kefenin yataklanması için kullanılan biri kare (solda) diğeri silindirik (sağdaki) iki adet hava yatağı.....	27
Şekil 4.3. Rockwell Sertlik Standardı Makinası dalma derinliği ölçüm prensibi.....	29
Şekil 4.4. Rockwell Sertliği Ölçümünde kullanılacak kuvvet-zaman döngüsü.....	31
Şekil 4.5. Rockwell Sertliği Ölçümünde oluşacak yol-zaman döngüsü.....	36
Şekil 4.6. Tasarlanan Rockwell Sertlik Standardı Makinası'nda test döngüsünü kontrol edecek iki önemli sensör, kuvvet dönüştürücü ve enterferometre montajı.....	39
Şekil 4.7. Tasarlanan Rockwell Sertlik Standardı Makinası.....	41
Şekil 5.1. 30 HRC Referans sertlik blok ölçüm sonuçları.....	44
Şekil 5.2. 50 HRC Referans sertlik blok ölçüm sonuçları.....	45
Şekil 5.3. 60 HRC Referans sertlik blok ölçüm sonuçları.....	45

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Brinell sertlik ölçeğinin parametreleri.....	7
Tablo 2.2. Vickers sertlik ölçeğinin parametreleri.....	9
Tablo 2.3. Knoop sertlik ölçeğinin parametreleri.....	12
Tablo 3.1. Rockwell sertlik ölçekleri, hesaplamaları ve birimleri.....	16
Tablo 3.2. Uygulanan kuvvet açısından Rockwell sertlik ölçekleri.....	20
Tablo 3.3. Rockwell sertlik ölçekleri.....	21
Tablo 4.1. Rockwell Sertlik Standardı Makinası tasarımında oluşturulması gereken Kuvvetler.....	24
Tablo 4.2. Rockwell Sertlik Ölçeği test döngüsü parametreleri.....	35
Tablo 5.1. 30 HRC referans blok sertlik ölçüm sonuçları.....	44
Tablo 5.2. 50 HRC referans blok sertlik ölçüm sonuçları.....	44
Tablo 5.3. 60 HRC referans blok sertlik ölçüm sonuçları.....	45

## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

c	: Knoop Sertliği'nde oluşan izin izdüşümü ile uzun köşegenin karesini ilişkilendiren bir sabit
D	: Brinell Sertliğinde kullanılan bilya ucun çapı
d	: Brinell Sertliği'nde iz çapı, Vickers Sertliği'nde kare şekilli iz köşegeni, Knoop Sertliği'nde izin uzun köşegeni
F	: Kuvvet, Rockwell Sertliği'nde toplam yük
F <sub>0</sub>	: Ön yük
F <sub>1</sub>	: Ek yük
g <sub>n</sub>	: Yerel çekim ivmesi
h	: Dalma derinliği
H <sub>A</sub>	: Shore-A sertliği
H <sub>D</sub>	: Shore-D sertliği
HBW	: Brinell Sertliği
HK	: Knoop Sertliği
HRA(B, C,...)	: Rockwell-A(B, C,...) Sertliği
HV	: Vickers Sertliği
LVDT	: Length Variable Differential Transducer
N	: Rockwell Sertliği'nde ölçek birimi cinsinden adedi
S	: Rockwell Sertliği'nde ölçeğe bağlı ölçek birimi
T <sub>ap</sub>	: Önyük uygulama zamanı
T <sub>dp</sub>	: Önyük bekleme zamanı
T <sub>rp</sub>	: Önyük okuma zamanı
T <sub>aa</sub>	: Ekyükü yükleme zamanı
T <sub>dl</sub>	: Toplam yük bekleme zamanı
T <sub>rl</sub>	: Ekyükü boşaltma zamanı
T <sub>rf</sub>	: İkinci önyük okuma zamanı
V <sub>a</sub>	: Ucun malzemeye yaklaşma hızı
V <sub>ap</sub>	: Önyük uygulama hızı
V <sub>ial</sub>	: Toplam yükün %0-%80'i arasında ekyük uygulama hızı
V <sub>fal</sub>	: Toplam yükün %80-%99'u arasında ekyük uygulama hızı
V <sub>ral</sub>	: Ekyükü boşaltma hızı
α	: Kare tabanlı elmas ucun tepe açısı, rhombic şekilli elmas ucun büyük olan tepe açısı
β	: Rhombic şekilli elmas ucun küçük olan tepe açısı
ρ	: Yoğunluk
ISO	: International Organization for Standardization
CCM-WGH	: Consultative Committee for Mass and Related Quantities-Working Group on Hardness



# **BİRİNCİL SEVİYELİ ROCKWELL SERTLİK STANDARDI MAKİNESİ TASARIMI**

**Cihan KUZU**

**Anahtar Kelimeler:** Rockwell Sertlik Standardı, Sertlik Ölçümü, Sertlik Kalibrasyonu, Ölçüm Belirsizliği.

**ÖZET:** Bilimin ve teknolojinin bütün alanlarında yapılan araştırmalar ve geliştirmeler için büyüklüklerin doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesi büyük önem taşır. Günümüzde, hassas ölçüm yapan cihazlar, bilimsel araştırma laboratuvarları ve metroloji enstitüleri tarafından sürekli kullanılmaktadırlar. Bu tezde, metal malzemelerin Rockwell Sertliği'nin doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesi ele alınmış ve birincil seviyeli Rockwell Sertlik Standardı Makinesi tasarımı anlatılmıştır. Bu tasarımda, batıcı uca etki eden kuvvet kaynağı olarak ölü ağırlıklar kullanılmasına ve dalma derinliğinin laser enterferometre optik sistemiyle ölçülmesine karar verilmiştir. Ayrıca test döngüsünün ölçüm değerlerine etkisinin önemli olduğu öngörölmüş, bu döngünün kontrolünü sağlamak için kuvvet uygulama mekanizmasının bir kuvvet dönüştürücüsüne bağlanarak kuvvet uygulama zamanları kontrol altında tutulmuştur.

Tez çalışması, TÜBİTAK-UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) bünyesinde bulunan Kuvvet Grubu Laboratuvarlarından Sertlik Laboratuvarı'nda gerçekeştirilmiştir. Halen devam etmekte olan bu çalışmada 0,2-0,3 Rockwell birimi ölçüm belirsizliği ile ölkemizin ulusal Rockwell Sertlik Standardının oluşturulması hedeflenmektedir.

## **DESING OF PRIMARY ROCKWELL HARDNESS STANDARD MACHINE**

**Cihan KUZU**

**Keywords:** Rockwell Hardness Standard, Hardness Measurement, Hardness Calibration, Measurement Uncertainty.

**ABSTRACT:** It is extremely important to measure some quantities precisely and accurately for research and development in all fields of science and technology. Nowadays, precision measurement devices are used in scientific reserach laboratories and national metrology institutes. In this thesis, precise and accurate Rockwell Hardness measurement of metal materials is mentioned and a Primary Rockwell Hardness Standard Machine design is interpreted. In this design, it has been decided to use dead-weights as source of force acting on the indenter and to measure depth of indentation by making use of a laser interferometer optic system. Furthermore, it is expected that testing cycle has significant effects on measurement results and a force transducer is used to tie up all force application mechanism to control the testing cycle and all dwell times of load applications

This study has been performed in Hardness Laboratory, a sub-laboratory of Force Measurements Laboratory of TUBITAK-UME, Turkish Scientific and Technical Research Center-National Metrology Institute of Turkey. The project is still going on and it is aimed to establish the Turkish national Rockwell Hardness Standard with a measurement uncertainty about 0,2-0,3 unit of Rockwell.

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin baş döndürücü bir hızla geliştiği günümüzde, bilimsel araştırma, sanayi, ticaret, ulusal savunma, sağlık gibi alanlarda yapılan çalışmaların başarıyla sonuçlandırılması, hassas, güvenilir ve doğru ölçümlere bağlıdır. Bugün toplumun hemen her kesiminin sahip olmayı olağan saydığı ev eşyalarının, otomotiv ürünlerinin, vs. ekonomik olabilmesini sağlayan seri üretim, bu ürünleri oluşturan yüzlerce parçanın hassas olarak aynı karakterde yapılabilmesinin sonucudur. Bu ise boyutların, sıcaklığın, ağırlığın, gücün, sertliğin, malzeme mukavemetinin, akımın, direncin, basıncın ve çeşitli malzeme karakteristiklerinin doğru olarak ölçülebilmesiyle sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra giderek artan uluslararası işbölümü, bir ürünü oluşturan parçaların değişik ülkelerde üretilip daha sonra birleştirilmesini kaçınılmaz kılmıştır. Bu durum, ürün kontrolü için ölçülen parametrelerin benzer koşullarda aynı sonuçları vermesiyle olasıdır. İşte bu nedenlerle metroloji kavramı ortaya çıkmıştır.

Metroloji sözcük anlamı olarak "ölçme bilimi"dir. Bütün ölçü sistemlerinin temeli olan birimlerin tanımlanması metrolojinin başlıca görevidir. Bu birimlerin mümkün olan en yüksek doğrulukla tanımlanabilmesi için, yüksek duyarlıklı ölçme tekniklerinin ve fiziğin en yeni bilgilerinin kullanılması gereklidir. Bu da her ulusun metroloji enstitüsü tarafından sağlanır. Oldukça geniş kapsamlı bilimsel çalışmalarda elde edilen ve zamanla değişimi yıllık "milyonda bir"ler (ppm-part per million) derecesinde olan standartların doğrulukları kalibrasyon aracılığıyla tüm ölçme ve test cihazlarına aktarılır.

Tüm malzeme testlerinin asıl amacı, üretimde kullanılacak malzemelerin doğru seçilebilmesi ve çalışma ortamına uygunluğunun belirlenmesidir. Sertlik testleri de özellikle birbiri ile çalışacak parçalarda, aşınma ve mukavemet özelliklerinin belirlenmesinde esas olarak kullanılır. Sertlik testlerini gerçekleştirirken kullanılan cihazlarının rutin kalibrasyonları ile ölçüm doğruluklarının takibi ve kesintisiz bir

izlenebilirlik zinciriyle bu cihazların doğruluklarının ulusal ve uluslararası standartlara dayandırılması Avrupa Birliği'ne girmek üzere olan ülkemizin uluslararası ticari ilişkileri açısından çok önemlidir.

Sertlik blok ve cihazlarının kalibrasyon işlemleri uluslararası norm ve standartlara göre yapılmaktadır. Doğru sertlik ölçümü yapmak için kalibrasyonda kullanılan cihazların düzenli aralıklarla kalibre edilmiş olması şarttır. Kalibrasyon ve ölçümlerin doğruluğu ve birliği ülke içinde kurulmuş bir metroloji açı ile sağlanır. Bu amaçla Ulusal Metroloji Enstitüsü bünyesinde Kuvvet Ölçümleri Laboratuvarı altında Sertlik Laboratuvarı faaliyet göstermektedir. Sertlik Laboratuvarı'nın temel görevi sertlik alanında Türkiye'nin ulusal standartlarını (birincil ve ikincil seviye standartlarını) oluşturmak, muhafaza etmek ve bu standartlarını sanayinin hizmetine sunarak Türkiye çapında sertlik ölçümlerinde izlenebilirliği sağlamaktır. Ayrıca kalibrasyon hizmetlerine ek olarak Türk Endüstrisi'nin talepleri doğrultusunda sertlik ölçümleri konularında eğitim, danışmanlık ve cihaz yapımı gibi hizmetleri de vermek laboratuvarımız görevleri arasındadır.

Bu çalışmada tasarlanması planlanan makinenin referans olacağı sertlik ölçekleri dünyada çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sadece Rockwell-C (HRC) ölçeği sertlik ölçümlerinin % 40'ını, bütün Rockwell sertlik ölçekleri düşünöldüğünde ise sertlik ölçümlerinin % 70'i oluşturmaktadır [1].

Bu tez çalışmasında sertlik metrolojisi dünyasında en önemli olarak kabul edilen ve en yaygın olarak kullanılan sertlik ölçeği olan Rockwell Sertliği Ölçeğinin birincil seviyede gerçekleştirilmesi için tasarlanan Birincil Seviyeli Rockwell Sertlik Standardı Makinesi'nin tasarımı ve ölçüm belirsizliğinin oluşturulması anlatılacaktır. Makinenin çalışma prensipleri oluşturulacak ve bu prensiplerin nasıl gerçekleştirilebileceği detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

## 2. SERTLİĞİN TANIMI VE SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

### 2.1. Sertliğin Tanımı

Sertlik, malzemenin kendi yüzeyine sert ve batıcı bir uç üzerine kuvvet uygulanarak oluşturulan kalıcı deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır[2]. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olup çoğunlukla aşağıdaki ifade ile bulunur. Sertlik = Uygulanan Kuvvet (yük) / Meydana Gelen İz Alanı

Sertliğin tanımına bakılırsa, sertlik ölçümünün iki adımda gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Bunlardan birincisi malzemenin deforme edilmesi, ikincisi ise malzemenin bu deformasyona karşı gösterdiği direncin ölçülmesidir. Bu direnç ise deformasyonun büyüklüğü ile tayin edilir. Deformasyon yada iz ne kadar büyük ise sertlik o kadar küçük, iz ne kadar küçük ise direnç yani sertlik o kadar büyüktür. Burada sözü edilen deformasyonun (izin) oluşturulması ve oluşan izin büyüklüğünün ölçümü belirli standardize edilmiş koşullar altında ve standardize edilmiş metotlarla gerçekleştirilir.

Daha sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılacağı üzere, iz, belirli bir geometrik yapıya sahip ve sert bir malzemedan yapılmış uca belirli bir kuvveti belirli bir zaman aralığında bilinen bir hızla uygulayarak oluşturulur. Oluşan izin büyüklüğünün ölçümü ise oluşturulmuş sertlik ölçeğine göre değişir. Rockwell sertliği gibi ölçeklerde izin derinliği (ucun sözü edilen koşullar altında malzeme içine dalma miktarı), Brinell ve Vickers gibi ölçeklerde ise oluşan daire yada kare şekilli izin alanının ölçümü ile gerçekleştirilir. Derinlik ölçümü yapılan izlerin derinliği mesafe ölçen bir sensör

kullanılırken, izin alanının ölçüldüğü ölçeklerde son zamanlarda görüntü işleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Yukarıda tanımlanan sertlik aslında statik sertlik olup en yaygın kullanılan sertlik ölçme yöntemidir. Bunun yanında yaygın olarak kullanılmasa da darbe etkisi ve sıçrama miktarı ile sertlik ölçme deneyleri yapmak mümkündür. Bu yöntemlerle ölçülen sertlik dinamik sertliktir.

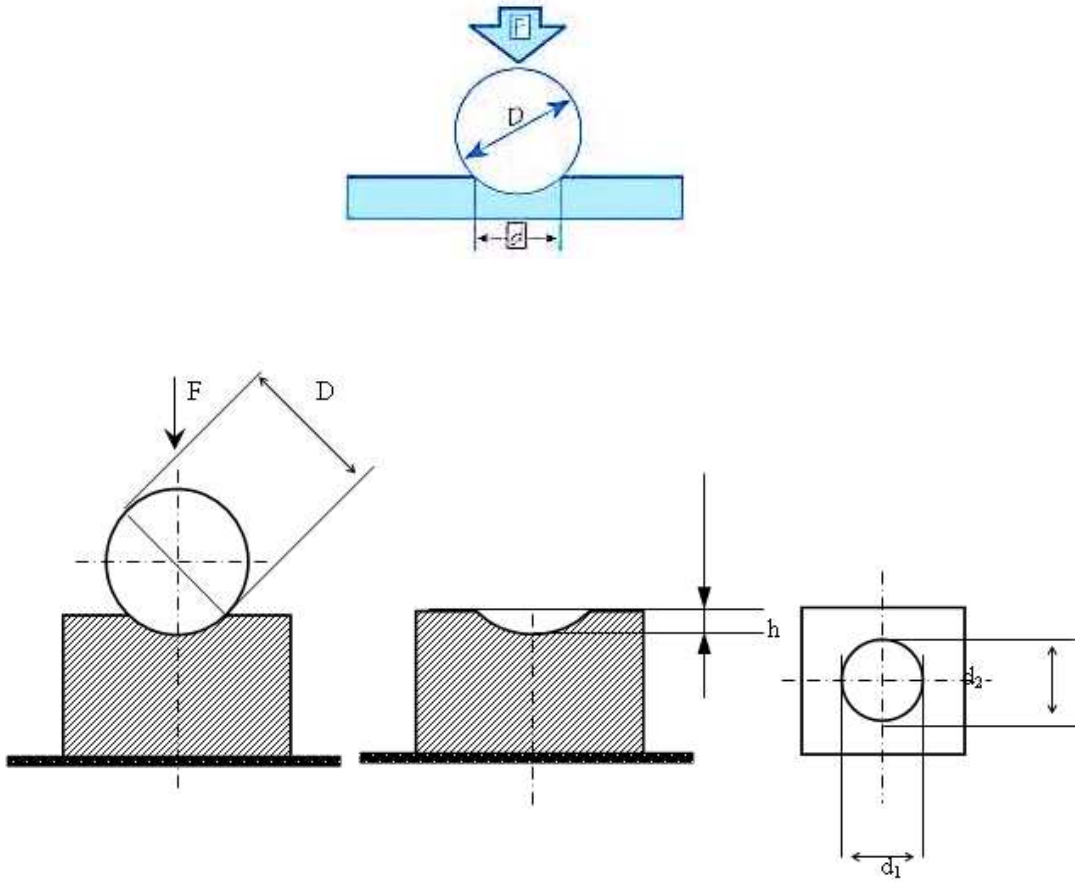
## **2.2. Sertlik Ölçüm Yöntemleri**

Sertlik ölçümü hızlı, kolay ve ucuz ve malzemenin diğer mekanik özellikleri hakkında bilgi veriyor olması dolayısıyla malzeme sanayinin vazgeçilmez test yöntemlerinden biridir. Metal malzemelerin sertlik ölçümlerinin yanında plastik ve kauçuk malzemelerin de sertlik ölçümleri benzer yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Sertlik ölçüm yöntemleri genellikle üretici ile müşterinin vardığı bir konsensüsten başka bir şey değildir. Müşteri üreticiden bir tür malzeme ve bu malzemenin sertliğinin kendisinin isteyebileceği bir yöntemle ölçülmesi halinde bulunacak değerlerin kendisinin istediği sınırlar içinde olmasını isteyebilir. Metroloji dünyasında pek yaygın olmayan buna rağmen sanayide kullanılan çeşitli sertlik ölçekleri de mevcuttur. Sözgelimi metroloji dünyasında en çok kullanılan sertlik ölçekleri olarak; metal sertlik ölçüm yöntemleri arasında Rockwell, Brinell, Vickers-Mikrovickers ve Knoop sertlik ölçekleri, plastik ve kauçuk sertlik ölçüm yöntemleri arasında Shore ve Irhd bulunur. Metroloji dünyasında popüler olmayan ama sanayide kullanılan sertlik ölçekleri arasında Barcol Sertliği, Leeb Sertliği, Wallace Sertliği, Mohs Sertliği, Webster Sertliği gibi ölçekler de mevcuttur. Şimdi bu sertlik ölçeklerinden en yaygın ve en çok kullanılan ve metroloji dünyasında da yer tutan sertlik ölçeklerinden bazılarını kısaca tanıyalım.

### **2.2.1. Brinell sertliği**

Brinell Sertliği, bir malzemenin yüzeyine belirli bir yükün, belirli çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanmasından ve sonuç olarak meydana

gelen izin çapının ölçülmesinden ibarettir. Brinell sertlik değeri uygulanan kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına oranıdır. Küresel yüzey alanı da izin ölçülen ortalama çapı ile kürenin çapından faydalanılarak bulunur. Brinell sertlik değeri aşağıdaki örnekte olduğu gibi 'okunan değer / ölçek / bilya çapı / yük / 10-15 saniyenin dışında ise zaman' şeklinde ifade edilir. Mesela 600 / HBW / 1 / 30 / 20 ifadesi "30 kgf yükün 1mm çaplı bilyaya 20 saniye uygulanması sonucu elde edilen Brinell değeri 600 olarak bulunmuştur" anlamında ifade edilir.

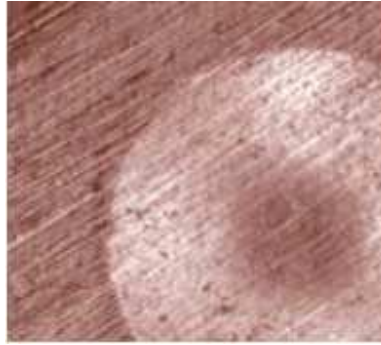


Şekil 2.1 Brinell Sertlik Ölçüm Prensibi ve Meydana Gelen İzin Görünüşü

### 2.2.1.1. Brinell sertlik ölçümünün genel özellikleri

Brinell Sertlik Ölçeği daha çok yumuşak malzemelerin sertliğinin ölçümünde kullanılır. Ölçümün uygulanmasıyla ilgili genel özellikler aşağıda verilmiştir:

- Kalibrasyonda batıcı uç ile yük F titreştirilmeden, darbesiz ve salınım yaptırmadan uygulanır[3].
- Uygulanacak kuvvet F 2-8 s içinde maximum değerine ulaşmalıdır[3].
- Tam değerine ulaşan F yükünün uygulama süresi 10-15 s olmalıdır[3].
- Batıcı ucun sertlik bloğuna yaklaşma hızı 1mm/s'yi geçmemelidir[3].
- Herhangi bir izin merkezinin blok kenarından uzaklığı iz ortalama çapının en az 2,5 katı olmalıdır[3].
- Komşu iki izin merkezi arasındaki mesafe ortalama bir iz çapının en az 3 katı olmalıdır[3].
- Blok üzerinde oluşturulan her izin çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülür ve aritmetik ortalaması alınarak bir izin ortalama çapı bulunmuş olur[3].
- Sertlik ölçümünün gerçekleştirileceği numunenin yüzeyi mümkün olduğunca düzgün ve pürüzsüz olmalı, oksitlenmemiş olmalı, yağlı veya kirli olmamalıdır[3].
- Sertliği ölçülecek malzemenin kalınlığının ucun malzeme içine dalma derinliğinin en az 8 katı olması gerekmektedir[3].



Şekil 2.2 Brinell sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü

### 2.2.1.2. Brinell sertliğinin hesaplanması:

İz oluşturulduktan sonra sertlik ölçme cihazının iz ölçme sistemiyle birbirine dik iki pozisyonda izin çapı ölçülür ve bu ölçümlerin ortalaması alınır ve uygulanan kuvvet değeri ile kullanılan bilya uç çapı ile birlikte aşağıdaki ampirik formül ile Brinell sertlik değeri hesaplanır;



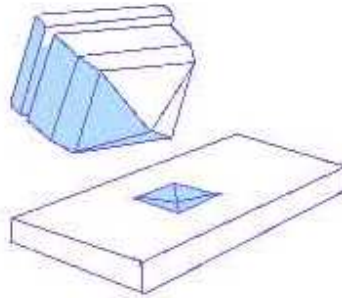
$$HBW = \frac{1}{g_n} \times \frac{\text{kuvvet}}{\text{izin yüzey alanı}} = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (2.1)$$

Tablo 2.1 Brinell sertlik ölçeğinin parametreleri[3].

Sembol Kısaltma	Açıklama	Birim
HBW	Brinell sertliği	-
D	Kullanılan Bilya Ucun Çapı	mm
F	Test Kuvveti	N
d	İzin Ortalama Çapı $\left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right)$	mm
d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub>	İzin Birbirine Dik İki Çap Ölçümü	mm

### 2.2.2. Vickers-mikrovickers sertliği

Vickers sertlik değeri, piramit şeklinde - karşılıklı yüzeyleri arasındaki açı  $\alpha$ ,  $136^\circ$  olan - batıcı elmas ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana gelen izin büyüklüğü ile ifade edilir. Oluşan iz tabanı kare şeklinde tepe açısı da batıcı ucun aynısı ( $136^\circ$ ) olan piramit şeklindedir. Vickers sertlik değeri de uygulanan yükün oluşan piramit izin toplam yüzey alanına oranıdır.



Şekil 2.3 Vickers sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü

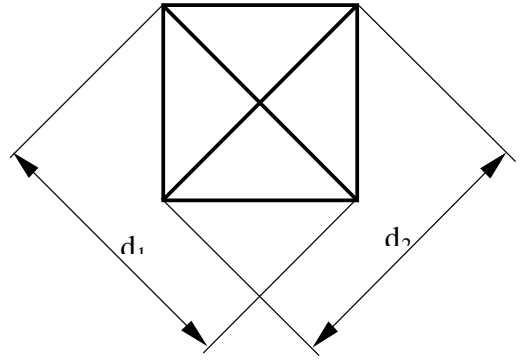
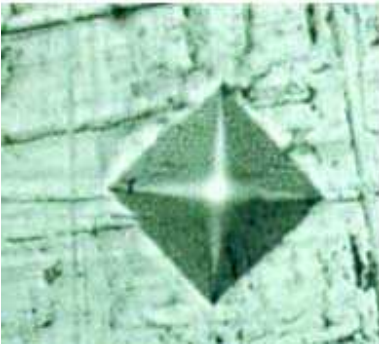
Vickers sertlik değeri aşağıdaki 6rnekte olduğu gibi ‘okunan değer/6lek/10-15 saniyenin dışında ise zaman’ şeklinde ifade edilir. Mesela 600 / HV30 / 20 ifadesi ‘‘30 kgf y6k6n kare piramit elmas uç 6zerine 20 saniye uygulanması sonucu elde edilen Vickers sertlik değeri 600 olarak bulunmuştur’’ anlamında ifade edilir [4].

### **2.2.2.1. Vickers-mikrovickers sertlik 6lm6n6n genel 6zellikleri**

Vickers sertlik 6l6m metodu Brinell 6leğine g6re daha sert malzemelerin sertlik 6l6m6nde kullanılır. Bu sertlik 6leğinin genel karakteristik 6zellikleri aşağıdaki gibidir:

- Batıcı uç ile y6k  $F$ , titreştirilmeden, darbesiz ve salınım yaptırılmadan uygulanır [4].
- $F$ ’nin tam değerine ulaşma zamanı 2-8 s olmalıdır[4].
- Bu değer d6ř6k değerdeki ve mikro sertliklerde 10 s’yi ve batıcı ucun yaklaşma hızı da 0,2 mm/s’yi geçmemelidir [4].
- Y6k 10-15 s uygulanmalı ve test s6resince sertlik 6l6m makinesi kesinlikle titreşimden uzak tutulmalıdır [4].
- elik , bakır ve alaşımlarının sertliklerinin 6l6mleri yapılırken herhangi bir izin merkezi ile bloğun kenarı arasındaki mesafe izin ortalama k6şegen uzunluğunun en az 2,5 katı, bu değer kurşun, kalay ve alaşımları gibi daha yumuşak malzemelerde ise en az 3 katı olmalıdır [4].
- elik , bakır ve alaşımlarının sertliklerinin 6l6mleri yapılırken herhangi iki izin merkezi arasındaki mesafe izin ortalama k6şegen uzunluğunun en az 3 katı, bu değer kurşun, kalay ve alaşımları gibi daha yumuşak malzemelerde ise en az 6 katı olmalıdır [4].
- Eğer iki komşu izleri b6y6kl6k açısından ciddi bir fark taşıyorsa diğer izler b6y6k izin mesafesi esas alınarak alınmalıdır. Her bir izin iki k6şegen uzunluğu 6l6l6p bunun aritmetik ortalaması alınır ve bu değer hesaplamalara iz k6şegen uzunluğu diye geçer. D6z y6zeylerde iki izin k6şegen uzunlukları arasındaki fark 5%’den b6y6k ise bu, sertifikada ifade edilmelidir [4].

- Sertliği ölçülecek malzemenin kalınlığının ucun malzeme üzerinde oluşturduğu kare şekilli izin köşegen uzunluğunun 1,5 katı olmalıdır [4].
- Brinell Ölçeği'nde de olduğu gibi burada da sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyi temiz, düzgün, pürüzsüz ve özellikle üzerinde yağ ve diğer kir sayılabilecek maddelerin olmaması gerekmektedir.



şekil 2.4 Vickers-mikrovickers sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü

#### 2.2.2.2 Vickers-mikrovickers sertliğinin hesaplanması

Vickers ve Mikrovickers sertliği aşağıdaki ampirik formül ile hesaplanır;

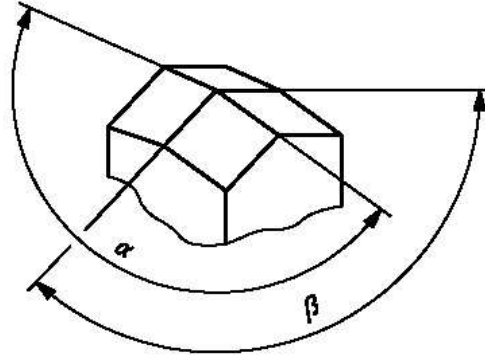
$$HV = \frac{1}{g_n} \times \frac{\text{kuvvet}}{\text{izin yüzey alanı}} = 0,102 \times \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \times \frac{F}{d^2} \quad (2.2)$$

Tablo 2.2 Vickers sertlik ölçeğinin parametreleri[4].

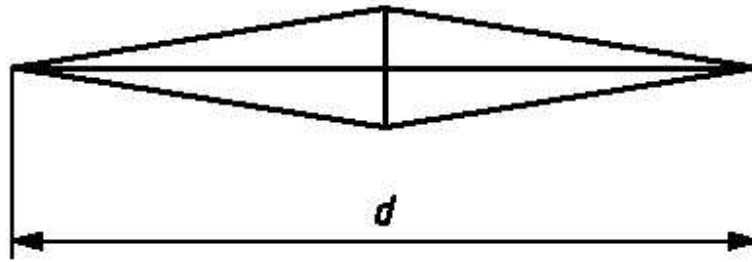
Sembol Kısaltma	Açıklama	Birim
HV	Vickers Sertliği	-
$\alpha = 136^\circ$	Kare Tabanlı Elmas Ucun Tepe Açısı	mm
F	Test Kuvveti	N
d	İzin Ortalama Köşegen Uzunluğu $\left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right)$	mm
$d_1, d_2$	İzin Birbirine Dik İki Köşegen Ölçümü	mm

### 2.2.3. Knoop sertliği

Knoop sertlik değeri, rhombic tabanlı - karşılıklı yüzeyleri arasındaki açıları,  $\alpha$  ve  $\beta$ , sırasıyla  $172,5^\circ$  ve  $130^\circ$  olan - elmas batıcı ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana gelen izin büyüklüğü ile ifade edilir. Oluşan izin tabanı düğün dörtyüzlü şeklinde tepe açısı da batıcı ucun aynı (  $172,5^\circ$  ve  $130^\circ$  )'dir. Knoop sertlik değeri de uygulanan yükün oluşan piramit izin uzun köşegen uzunluğunun karesine oranıdır.



şekil 2.5 Knoop sertliği elmas ucunun şekli



şekil 2.6 Knoop sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen izin görüntüsü ve ölçümü

Knoop sertlik değeri aşağıdaki örnekte olduğu gibi 'okunan değer/ölçek/10-15 saniyenin dışında ise zaman' şeklinde ifade edilir. Mesela  $600 / HK0,1 / 20$  ifadesi "100 gf yükün

rhombic tabanlı piramit elmas uç üzerine 20 saniye uygulanması sonucu elde edilen Knoop sertlik değeri 600 olarak bulunmuştur” anlamında ifade edilir [5].

### **2.2.3.1. Knoop sertlik ölçmünün genel özellikleri**

Knoop Sertliği çok seyrek kullanılan bir sertlik ölçgeğidir. Mikrovickers sertlik ölçgeğinde kullanılan yük (kuvvet) değeri kullanılır. İz ölçme sistemi de tamamen aynıdır. Knoop’da sadece uç değışiktir. Mikrovickers sertliği ölçen bir sistemin ucunu Knoop ucuyla değıştirirseniz Knoop sertlik ölçgeğini elde edersiniz. Knoop ve Mikrovickers sertlik ölçekjleri mikrosertlik ölçgeğini oluşturur. Knoop Sertlik ölçgeğinin genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Batıcı uç ile yük  $F$ , titreştirilmeden, darbesiz ve salınım yaptırılmadan uygulanır [5].
- $F$ ’nin tam değeri ulaşma zamanı 5 saniyeyi geçmemelidir [5].
- Yük 10-15 s uygulanmalı ve test süresince sertlik ölçüm makinesi kesinlikle titreşimden uzak tutulmalıdır [5].
- Sertlik ölçümleri yapılırken herhangi bir izin sınırı ile bloğun kenarı arasındaki mesafe izin kısa köşegen uzunluğunun en az 3 katı olmalıdır [5].
- Sertlik ölçümleri yapılırken herhangi kenardan komşu iki izin sınırları arasındaki mesafe izin kısa köşegen uzunluğunun en az 2,5 katı, uç noktalardan komşu iki izin sınırları arasındaki mesafe uzun köşegen uzunluğunda olmalıdır. İki izin köşegen uzunlukları birbirinden farklıysa büyük iz referans alınmalıdır [5].
- Knoop sertliği hesaplanırken uzun köşegen uzunluğu ölçülür. Uzun köşegenin bir yarısı diğer yarısından %10’dan fazla fark ediyorsa bu ölçüm iptal edilmeli, bloğun konulduğu tablanın yataylığı ve ucun o tablaya dik pozisyonda etki edip etmediği kontrol edilmelidir [5].

### **2.2.3.2. Knoop sertliğinin hesaplanması**

Knoop sertliği hesaplanırken izin uzun köşegeni ölçülür ve aşağıdaki ampirik formülde yerine konularak sertlik değeri hesaplanır;

$$HK = \text{sabit} \times \frac{\text{kuvvet}}{\text{izin yüzey alanı}} = 0,102 \times \frac{F}{cd^2} = 1,451 \times \frac{F}{d^2} \quad (2.3)$$

Tablo 2.3 Knoop sertlik ölçeğinin parametreleri[5].

Sembol Kısaltma	Açıklama	Birim
F	Test Kuvveti	N
d	İzin Uzun Köşegen Uzunluğu	mm
c	Oluşan İzin izdüşümü ile Uzun Köşegenin Karesini İlişkilendiren Bir	
d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub>	Sabit $c = \left( \frac{\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right)$ olup bu değer idealde 0,07028'dir. Burada $\alpha$ ve $\beta$ ucun karşılıklı iki yüzeyi arasındaki tepe açılarıdır.	°
HK	Knoop Sertliği	-

#### 2.2.4. Shore sertliği

Shore sertliği, metal malzemelerin sertliğinin ölçümünde olduğu gibi, belirli şekillerde batıcı uçları belirli yük altında belirli bir süre tutmak kaydıyla ucun malzemeye batma miktarı ile hesaplanır. Burada sertlik dalma derinliği ile ters orantılıdır ama malzemenin viskoelastisitesi ve elastiklik modülüne bağlıdır. En çok kullanılan iki tip shore ölçeği vardır; shore-A ve shore-D. Bu durometrelerin bileşenleri aşağıdaki gibidir:

- Basma Tablası: Ortasında 2,5-3,5 çapında ve kenardan en az 6mm mesafede merkezlenmiş bir deliği olan basma ayağıdır [6].
- Batıcı Uç: 1,10 mm -1,40 mm çapında sertleştirilmiş çelik çubuktan yapılmıştır. Şekil ve ölçüleri aşağıda verilmiştir [6].

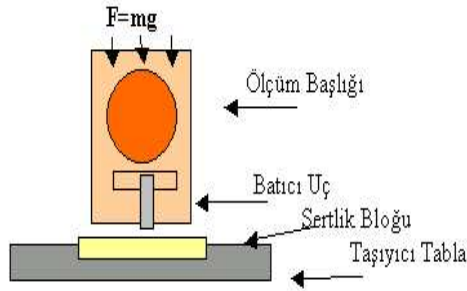
- Gösterge Cihazı: Sertlik değerlerini ucun dalma derinliğine göre ölçecek bu sistem 0-100 sertlik ölçeğini 0-2,5 mm aralığında okuyacak şekilde ölçeklendirilmiş olması gerekir [6].
  - Yay Elemanı: Uygulanan kuvvet ile okunan sertlik değerleri arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi olmalıdır [6];
1. A tipi durometreler (Shore-A):

$$F = 550 + 75H_A \quad (2.4)$$

2. D tipi durometreler (Shore-D):

$$F = 445H_D \quad (2.5)$$

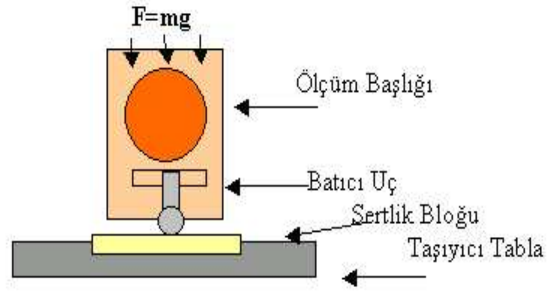
Burada uygulanan kuvvetin birimi milinewton (mN) 'dur.



Şekil 2.7 Shore sertlik ölçüm prensibi

### 2.2.5. Irhd sertliği

Irhd (International rubber hardness degree) sertlik ölçüm prensibi, küçük bilya ucun kauçuk içinde değeri küçük bir önyük ile daha büyük bir kuvvet değeri uygulanmasıyla oluşan dalma miktarı ile ölçülen ve bununla ters orantılı olan bir sertlik ölçeğidir. Malzemelerin sertliklerine göre oluşturulmuş 4 adet alt ölçeği bulunmaktadır. Bunlar; N metodu (normal test), H metodu (yüksek sertlik testi), L metodu (düşük sertlik testi), M metodundan (micro test) oluşmaktadır. Aşağıda Irhd sertlik ölçüm prensibinin bir şeması görülmektedir.



Şekil 2.8 Brhd sertlik ölçüm prensibi



### **3. ROCKWELL SERTLİK ÖLÇEĞİ**

#### **3.1 Tarihçe**

Rockwell sertlik testi, 1919 yılında bilya yatakları üretim fabrikasında çalışan Rockwell P. Stanley tarafından, bilya sertliğinin daha hızlı ve daha doğru ölçülmesine çalışılırken bulunmuştur. Hemen akabinde Charles H. Wilson, Rockwell P. Stanley'in buluşunu genişletmiş ve bugünkü bildiğimiz haline, dünyada en çok kullanılan ve en önemli sertlik ölçeği olarak kabul edilen, metal ve metal ürünlerinin test ve kabullerinin ve proses kontrolünün yapıldığı Rockwell Sertlik Ölçeği haline getirmiştir. Gelişiminden itibaren Rockwell sertlik testinin diğer sertlik ölçeklerine oranla sahip olduğu üstünlüklerden dolayı popüleritesi istikrarlı bir şekilde artmıştır. Günümüzde dünyada en çok kullanılan ve dünyanın en önemli sertlik ölçeği haline gelmiştir [7].

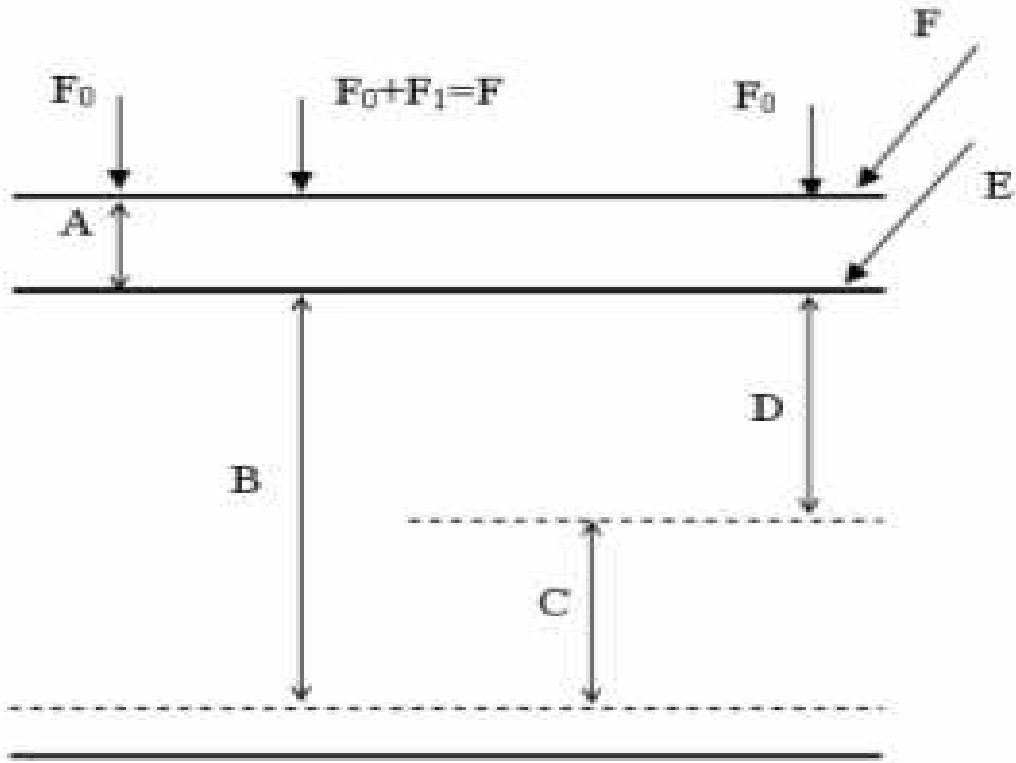
#### **3.2 Rockwell Sertliği Ölçüm Prensibi**

Brinell ve Vickers sertlik ölçekleri gibi malzemenin deformasyonu ile gerçekleştirilen, belirli şartlar altında belirli şekillerde uçlar kullanarak izler oluşturup ve bu izlerin büyüklüklerini yine belirli şartlar altında ölçümünü gerçekleştirerek yapılan bir sertlik ölçüm türüdür. Rockwell sertlik ölçümü, Brinell ve Vickers sertlik ölçeklerindeki gibi izin çap yada köşegen uzunlukları yerine ucun dalma derinliği ölçülerek bulunan bir sertlik değeridir. Rockwell sertlik değeri, malzeme üzerine, batıcı bir uç yardımıyla önce sabit belirli küçük bir yükü bastırıldığında meydana gelen izin dip kısmı başlangıç noktası alınarak, yük daha yüksek belirli bir değere artırılıp daha sonra tekrar önceki yüke dönmek suretiyle, ucun başlangıçta uygulanan ön yükten hemen sonraki malzemedeki derinliğine göre meydana gelen iz derinliğindeki net artışla bulunan ve bu artışla ters orantılı olan sertlik değeridir. Malzeme üzerine oluşturulan plastik deformasyon miktarı yani ucun dalma derinliği ne kadar küçükse malzemenin sertliği o kadar büyüktür ve tam tersi

de doğrudur. Rockwell Sertliği genellikle daha sert malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde kullanılan bir sertlik ölçeği olup yaygın kullanımı bu ölçeği son derece önemli hale getirmiştir.

Tablo 3.1 Rockwell sertlik ölçekleri, hesaplamaları ve birimleri

Sembol	Açıklaması	Birim
F <sub>0</sub>	Ön yük	N
F <sub>1</sub>	Ek yük	N
F	Toplam yük	N
S	Ölçek birimi, ölçeğe bağlıdır	mm
N	Ölçek birimi cinsinden adedi	
h	Ek yükün kaldırılmasından sonra ön yük altında oluşan izin kalıcı derinliği	mm
A	F <sub>0</sub> altında ucun derinliği	
B	F <sub>0</sub> +F <sub>1</sub> =F Toplam kuvvet altında ucun derinliği	
C	F <sub>1</sub> kaldırılıp tekrar F <sub>0</sub> önyüke dönülünce ucun derinliği	
D	Kalıcı iz derinliği (dalma derinliği, plastik defrmasyon)	
E	Referans ölçüm yüzeyi	
F	Blok yüzeyi	
HRA		
HRC		
HRD	Rockwell Sertligi = $100 - \frac{h}{0.002}$	
HRB		
HRE		
HRF		
HRG	Rockwell Sertligi = $130 - \frac{h}{0.002}$	
HRH		
HRK		
HRN		
HRT	Rockwell Sertligi = $100 - \frac{h}{0.001}$	

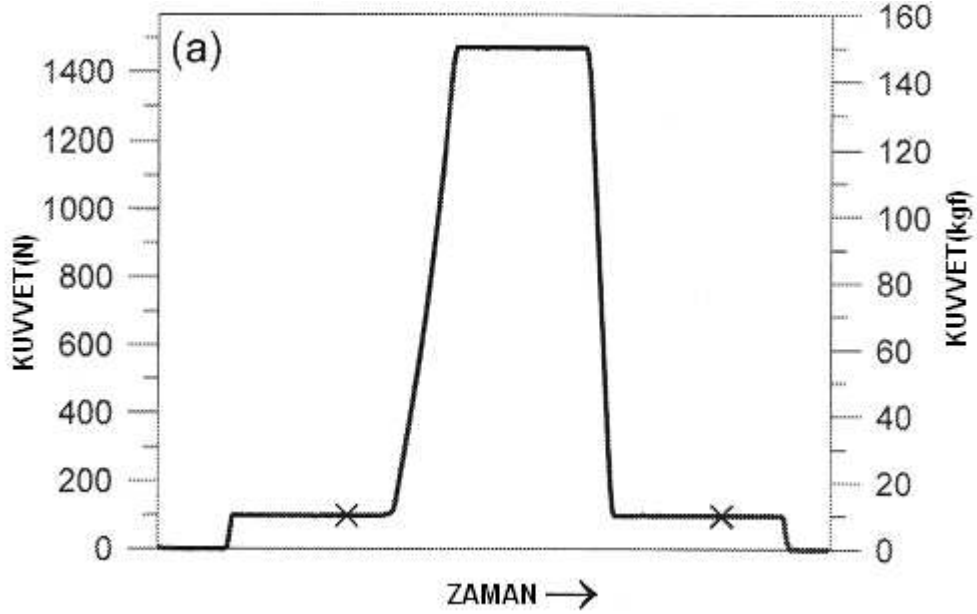


Şekil 3.1 Rockwell sertliği ölçme prensibi

Rockwell Sertlik Prensibini adım adım takip edersek, sertliği ölçülecek bir malzemeye batırılacak ucun üzerine  $F_0$  ön yükü uygulanır ve ucun malzemenin belirli bir miktar malzemenin içine girmesi sağlanır, uç A derinliğindedir. Diğer sertlik ölçümlerinde bulunmayan bu adımın amacı sertlik ölçümlerine etki eden ve en iyi hazırlanmış yüzeylerde bile belirli bir miktarda bulunan yüzey düzgünlüklerinin etkisini mümkün olduğunca azaltmaktır. Ön yük uygulandıktan sonra ucun bulunduğu konum, Rockwell sertliğinin belirlenmesinde kullanılan dalma derinliğinin ölçümüne referans olacak konumdur.

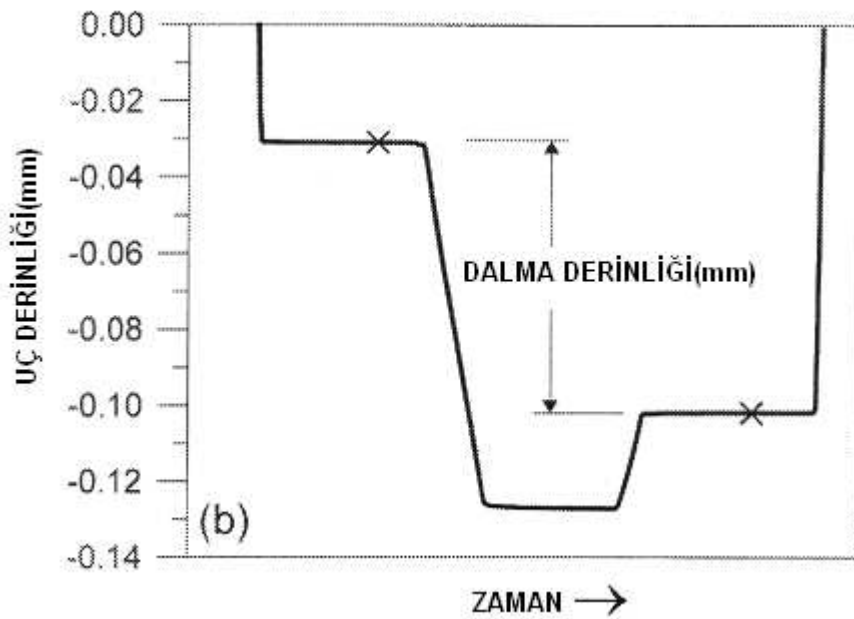
Daha sonra ek bir kuvvet uygulanarak ucun malzemenin içine daha fazla batması gerçekleştirilir. Uç B derinliğindedir. Kuvvetin asıl olarak bu adımda malzeme üzerinde oluşturacağı plastik deformasyon miktarı önemlidir. Belirli bir süre boyunca tutulan bu kuvvet de kaldırılır ve tekrar önyüğe dönülür, uç burada C derinliğindedir. Ön yük kaldırılmadan ucun bulunduğu konum ölçülür. Dalma derinliği yada kuvvetin bir uç yardımıyla malzeme üzerinde oluşturacağı plastik deformasyon, ucun birinci ön yük  $F_0$ 'ın uygulanmasından sonra, ek yük  $F_1$  uygulanmadan önce ucun pozisyonu ile ekyük  $F_1$  uygulanıp kaldırıldıktan ve tekrar önyük  $F_0$ 'a döndükten

sonraki ucun pozisyonu arasındaki farktır, ucun bu süreçte aldığı yoldur. Aşağıda Rockwell Sertlik Prensibine göre, HRC sertlik ölçğine ait örnek bir kuvvet uygulama döngüsü mevcuttur [7].



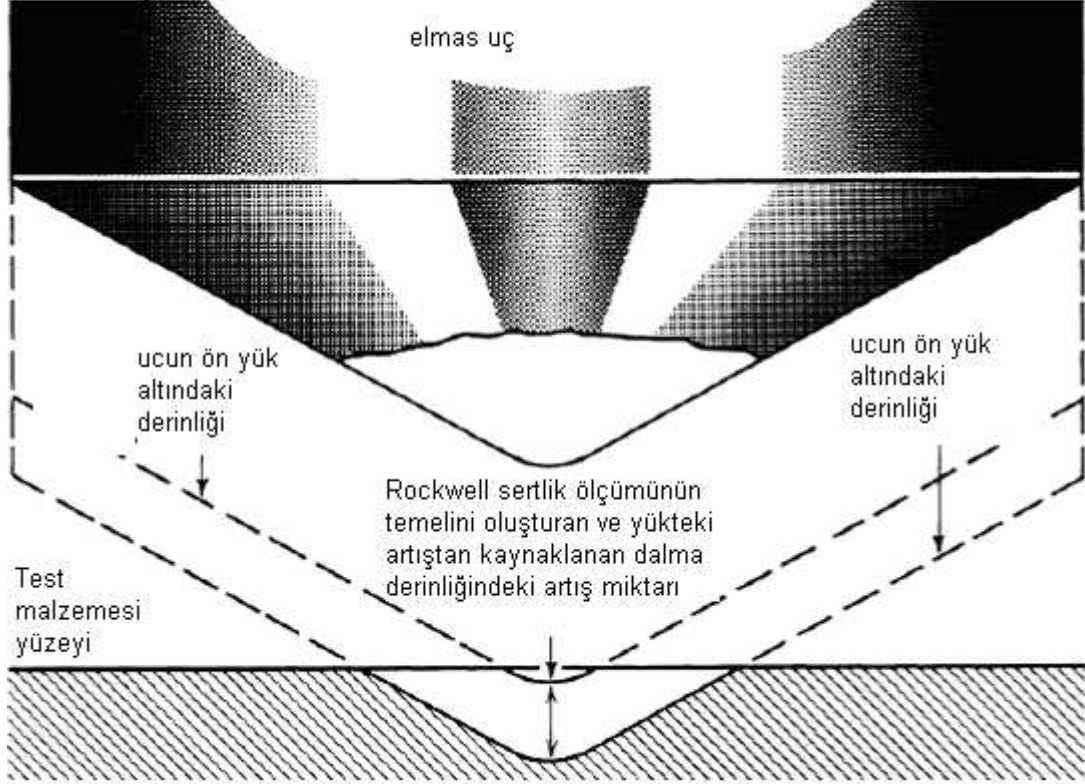
Şekil 3.2 Rockwell Sertlik Prensibine Göre HRC'ye Ait Kuvvet Uygulama Döngüsü

Şekilde gösterilen kuvvet döngüsüne karşılık gelen ucun malzeme içinde dalma derinliğini oluşturulması, malzeme içindeki hareketi aşağıda verilmiştir [7].



Şekil 3.3 Rockwell Sertlik Prensibine göre HRC'ye ait ucun hareket döngüsü

Aşağıda ucun yukarıda anlatılan prensibe göre malzeme içindeki hareketlerini bir başka açıdan gösteren şema mevcuttur.



Şekil 3.4 Ucun malzeme içindeki konumları

### 3.3 Rockwell Sertlik Ölçekleri

Malzemelerin çeşitliliği ve bu malzemelerin kullanım farklılıkları, farklı sertlik ölçekleri oluşturulma gerekliliğini ortaya koymuştur. İnce yada kalın numunelerin sertliklerinin ancak farklı kuvvet değerlerinde, sert yada yumuşak malzemelerin sadece farklı uçlar kullanılarak ölçülebilmesi farklı sertlik ölçeklerini oluşturmayı kaçınılmaz kılmıştır. Şimdi bu farklı sertlik ölçeklerini sertlik büyüklüğünü oluşturan parametreler açısından tanımayalım.

Kuvvet açısından:

Rockwell'de kullanılan kuvvet değerlerine göre iki türlü sertlik ölçeği mevcuttur: Bunlar Rockwell ve yüzeysel Rockwell. Rockwell sertlik ölçeklerinde ön yük 10 kgf (98,07 N) iken yüzeysel sertlik ölçeklerinde 3 kgf (29,42 N)'dur. Aşağıdaki tabloda Rockwell ve yüzeysel Rockwell sertlik ölçeklerinde kullanılan kuvvetler mevcuttur.

Tablo 3.2 Uygulanan kuvvet açısından Rockwell sertlik ölçekleri

Önük (N)	Ek Yük (N)	Toplam Yük (N)	Sertlik Ölçekleri
98,07	490,3	588,4	Rockwell
98,07	882,6	980,7	Sertlik
98,07	1373	1471	Ölçekleri
29,42	117,7	147,1	Yüzeysel-
29,42	264,8	294,2	Rockwell
29,42	411,9	441,3	Sertlik Ölçekleri

Uç açısından:

Sertlik ölçeklerinin oluşturulmasında önemli rol oynayan diğer bir parametre ise malzemelerin sertliklerindeki çeşitlilik ve bu çeşitlilikten kaynaklanan farklı uç varyasyonlarıdır. Sert malzemelerin sertliği ölçülürken daha batıcı uç kullanılırken, daha yumuşak malzemelerin sertlik ölçümlerinde daha az batıcı uçlar kullanılması uygun görülmüştür.

Rockwell sertlik ölçeklerinde üç tür uç kullanılmaktadır: Elmas uç, 3,175 mm bilya uç, 1,5785 mm bilya uç.

Elmas Uçun Özellikleri:

- Elmas uçun koni açısı ortalama  $120^{\circ} \pm 0,1^{\circ}$  olmalıdır.
- Koninin kenarlarının doğrusallığı 0,0005 mm / 0,4 mm olmalıdır.
- Küresel uçun ortalama yarıçapı  $0,2 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$  olmalıdır.
- Elmas uçun eksenini ile onun tutucusunun eksenini arasındaki eksen kaçıklığı en fazla  $0,3^{\circ}$  olmalıdır.

Bilya Uçların Özellikleri:

- $1,5875 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$  ve  $3,175 \text{ mm} \pm 0,003 \text{ mm}$  olmalıdır.
- Paslanmaz çelik bilyaların sertliği en az 750 HV10, sertleştirilmiş metalden yapılan bilyalar için bu değer en az 1500 HV10 olmalıdır.
- Sertleştirilmiş metal bilyaların yoğunluğu  $\rho = (14,8 \pm 0,2) \text{ g/cm}^3$  olmalıdır.

- Sertleştirilmiş bilyaların kimyasal birleşimi aşağıdaki gibi tavsiye edilmektedir:
  1. Tugsten Carbide (WC) balans
  2. Diğer karbidler 2,0 %
  3. Kobalt 5,0 % - 7,0%

Görüldüğü üzere Rockwell Sertlik Standardı Makinesi'nde kullanılması düşünülen üç çeşit uç, iki çeşit önyük ve herbir önyük için üçer çeşit kuvvet (ekyük) değeri bulunmaktadır. Bu parametreler gözönüne alınarak oluşturulacak kombinasyonlardan oluşan ölçek tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.3 Rockwell sertlik ölçekleri [8]

Rockwell Sertlik Ölçeği	Sertlik Sembolü <sup>1</sup>	Kullanılan Uç	Ön Yük (N)	Ek Yük (N)	Toplam Yük (N)	Uygulama Alanı (Rockwell Sertlik Testi)
A	HRA	Elmas Uç	98,07	490,3	588,4	20HRA– 88HRA
B	HRB	1,5875 mm Bilya Uç	98,07	882,6	980,7	20HRB-100HRB
C	HRC	Elmas Uç	98,07	1373	1471	20HRC-70HRC
D	HRD	Elmas Uç	98,07	882,6	980,7	40HRD-77HRD
E	HRE	3,175 mm Bilya Uç	98,07	882,6	980,7	70HRE-100HRE
F	HRF	1,5875 mm Bilya Uç	98,07	490,3	588,4	60HRF-100HRF
G	HRG	1,5875 mm Bilya Uç	98,07	1373	1471	30HRG-94HRG
H	HRH	3,175 mm Bilya Uç	98,07	490,3	588,4	80HRH-100HRH
K	HRK	3,175 mm Bilya Uç	98,07	1373	1471	40HRK-100HRK
15N	HR15N	Elmas Uç	29,42	117,7	147,1	70 – 94 HR15N
30N	HR30N	Elmas Uç	29,42	264,8	294,2	42 – 86 HR30N
45N	HR45N	Elmas Uç	29,42	411,9	441,3	20 – 77 HR45N
15T	HR15T	1,5875 mm Bilya Uç	29,42	117,7	147,1	67 – 93 HR15T
30T	HR30T	1,5875 mm Bilya Uç	29,42	264,8	294,2	29 – 82 HR30T
45T	HR45T	1,5875 mm Bilya Uç	29,42	411,9	441,3	10 – 72 HR45T

<sup>1</sup>: Bilya uç kullanılan sertlik ölçeklerinde yukarıda verilen sembollere, paslanmaz çelik bilya kullanıldığında “S”, sertleştirilmiş çelik kullanıldığında ise “W” harfleri eklenir.

### 3.4 Rockwell Sertlik Değerinin Tayini ve İfadesi:

Yukarıda ifade edildiği gibi oluşturulan izin dalma derinliği ölçölür ve Rockwell sertlik değerinin hesaplanmasında kullanılan deneysel formölde yerine konulur.

$$\text{Rockwell Sertligi} = N - \frac{h}{S} \quad (3.1)$$

Sonuç, malzemenin sertlik değerini veren bir sayıdır. Birimsizdir. Sertlik, metroloji dünyasının birimsiz tek büyüklüğüdür. Sebebi, sertliğin fiziksel temel bir tanımının olmamasıdır. Fiziksel bir tanımlı olmayan bir büyüklük olan sertlik, SI birimlerine bağlı olarak tanımlanamamakta, sadece malzemelerin sertliğini ve biraz da malzemenin başka mekanik özelliklerini karşılaştırmakta kullanıldığı için birimsiz olarak kullanılmaktadır.

Rockwell Sertliği ise ‘setlik değeri / Rockwell sertlik sembolü / ölçek sembolü / bilya uç kullanılan sertli ölçekleri için bilyanın malzemesini gösteren sembol’ şeklinde ifade edilir. Elmas ucun kullanıldığı bir sertlik ölçeği örneği verirsek, 60 HRC sertliği, sertlik değeri 60 / Rockwell sertlik sembolü HR / C ölçeği anlamında kullanılır. Bilya uç kullanılan bir sertlik ölçümünde ise 50 HR30TW, sertlik değeri 50 / Rockwell sertlik sembolü HR / ölçek 30T / W tungsten carbide bilya uç kullanılmış şeklinde ifade edilir.



#### **4. BİRİNCİL SEVİYELİ ROCKWELL SERTLİK STANDARDININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ (MAKİNEİNİN TASARIMI)**

Bir sertlik ölçeğinin oluşturulması dört temel parametrenin gerçekleştirilmesi ile olur. Bu parametreler kuvvet, uç, iz ölçme sistemi (Rockwell sertlik ölçeğinde dalma derinliği ölçümü) ve test döngüsüdür. Bu tasarımda uç ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmayacak, diğer üç parametre gerçekleştirilecektir.

##### **4.1 Kuvvetin Oluşturulması**

Bütün sertlik ölçümlerinin ortak yönlerinden biri malzemenin deforme edilmesidir. Zira sertlik malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Sertliği tanımına göre oluşturmak istediğimiz zaman malzemeyi deforme edeceğimiz batıcı ucun üzerine belirli miktarda ve belirli doğruluğa sahip bir kuvvetin etkimesi gerekmektedir. Burada batıcı uca etki edecek kuvvetin doğruluğunun yanında darbesiz ve titreşimsiz etkimesi makinenin toplam performansı üzerinde etkili olacaktır.

##### **4.1.1 Uygun kuvvet kaynağı ve tasarımı**

Kurgulanan birçok mekanik ve elektromekanik sistemde kuvvet oluşturulur yada kullanılır. Kuvvet oluşturma yöntemleri kuvvetin kullanılma amacına bağlı olarak değişir. Çok kaba amaçlar için kullanılacak bir kuvvetin oluşturulma ve kullanılma yöntemi ile çok hassas bir ölçüm için kullanılacak bir kuvvet kaynağı birbirinden çok farklıdır.

Kuvvet; hidrolik, elektromotor, ölü ağırlık-manivela, ölü ağırlık-hidrolik yöntemlerle oluşturulabileceği gibi sadece ölü ağırlıklarla da oluşturulabilir. Bu yöntemler içerisinde kuvvet en doğru ve en hassas ölü ağırlıklarla oluşturulur. Burada sözü edilen tasarım

birincil seviyeli bir sistem olduğu için onu oluşturan bütün parametrelerin yüksek metrolojik vasıflara sahip olması gerekmektedir. Bu sistemde kullanılacak kuvvet kaynağının doğada kuvveti en doğru ve hassas oluşturacak yöntem olmalıdır. Bir büyüklüğü oluşturmanın en doğru yöntemi onu tanımına göre oluşturmaktır. Kuvvet Newton'un ikinci yasasına göre,

$$F = m \cdot a \quad (4.1)$$

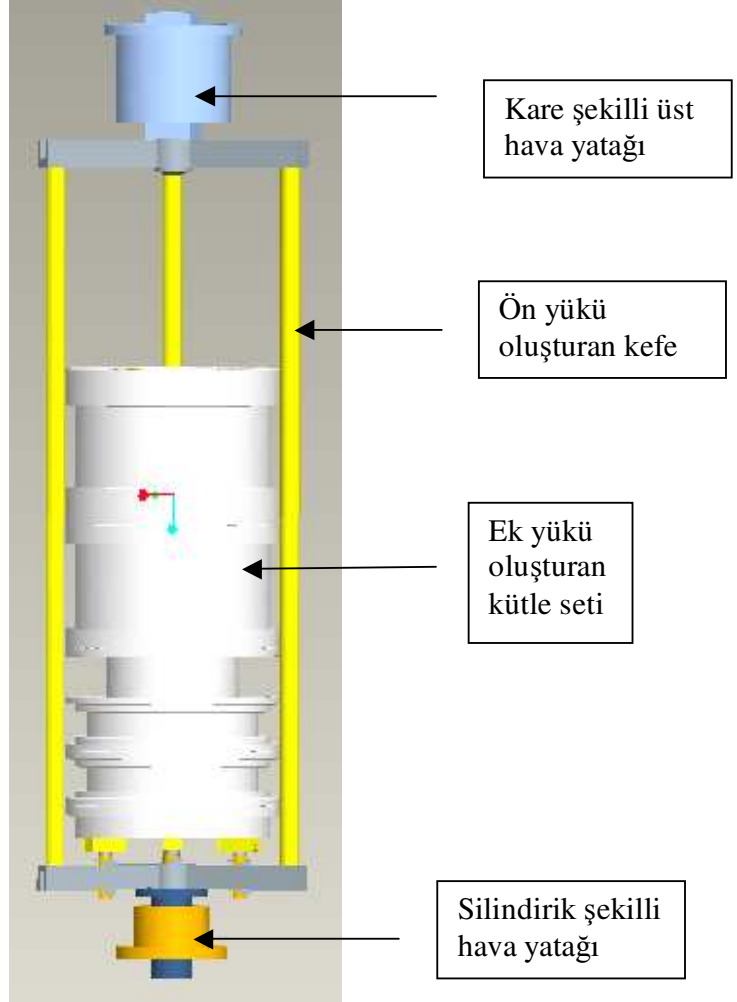
olarak tanımlanır. Burada kuvvet, kütle ve bu kütle üzerine etki eden ivmenin çarpımı şeklinde ifade edilmiştir. Yani kuvvet kaynağımız ölü ağırlıklar ise, onların ürettiği kuvvet miktarı, kütle miktarları ile onların buldukları yerin -yerel- yerçekim ivmesinin çarpımı olarak ifade edilir ve kuvvet en doğru yöntem ile oluşturulmuş olur.

Bu tasarımda oluşturulması planlanan kuvvet miktarları yukarıdaki sertlik ölçekleri tablosundan da anlaşılacağı gibi iki adet ön yük, ve her bir ön yük ile birlikte düşünülen 3'er yük olacaktır. Bu kuvvet değerleriyle hem Rockwell hem de yüzeysel Rockwell sertlik ölçeklerinin oluşturulması planlanmıştır. Oluşturulması gereken kuvvet değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1 Rockwell Sertlik Standardı Makinesi tasarımında oluşturulması gereken kuvvetler

Ön yük (N)	Ek Yük (N)	Toplam Yük (N)	Sertlik Ölçekleri
98,07	490,3	588,4	Rockwell
98,07	882,6	980,7	Sertlik
98,07	1373	1471	Ölçekleri
29,42	117,7	147,1	Yüzeysel-
29,42	264,8	294,2	Rockwell
29,42	411,9	441,3	Sertlik Ölçekleri

Bu makinenin dizaynında kullanılması düşünülen kuvvet kaynağı ölü ağırlıklardır. Bu ölü ağırlıklar birbirleri veya çevre cisimlerle bir etkileşim içine girmeyen de-magnetik paslanmaz çelik 304'ten imal edilecektir. Aşağıda kütlelerin şekli görülmektedir.



Şekil 4.1 Sertlik Standardı Makinesi kütle seti, kuvvet uygulama sistemi

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, üç kollu bir kefe, bu kefenin içinde 6 adet kütle üst üste dizilmiştir. Kefe yüzeysel Rockwell'in ön yükünü oluşturmaktadır. Diğer kütleler aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla, 12 kg-f, 15 kg-f, 15 kg-f, 8 kg-f, 40 kg-f ve 50 kg-f olarak sıralanmıştır. Bu sıra takip edilerek ve kütleler üst üste konularak ön yük (kefe ile beraber) 15, 30 ve 45 kg-f değerlerine ulaşılır ve yüzeysel Rockwell'in gerektirdiği kuvvet sırası oluşturulmuş olur. Normal Rockwell için ise, kefenin her bir koluna değeri 7/3 kg-f olan üç kütle asılır ve toplam kefe yük miktarı 10 kg-f'e çıkarılır. Bu da

Rockwell'in ön yükünü oluşturur. Kefenin bu hali ile 8 kg-f kütlesinden itibaren toplanarak oluşturulacak kuvvet miktarları, 60, 100 ve 150 kg-f değerleri olur ve Rockwell Sertliği'nin de kuvvet adımları gerçekleştirilmiş olur. Burada kefenin 3 kg-f'i sağlayabilmesi için alüminyumdan imal edilmesi tasarlanmış, kütleler ise manyetiklik özelliği olmayan çelikten üretilmesi tasarlanmıştır.

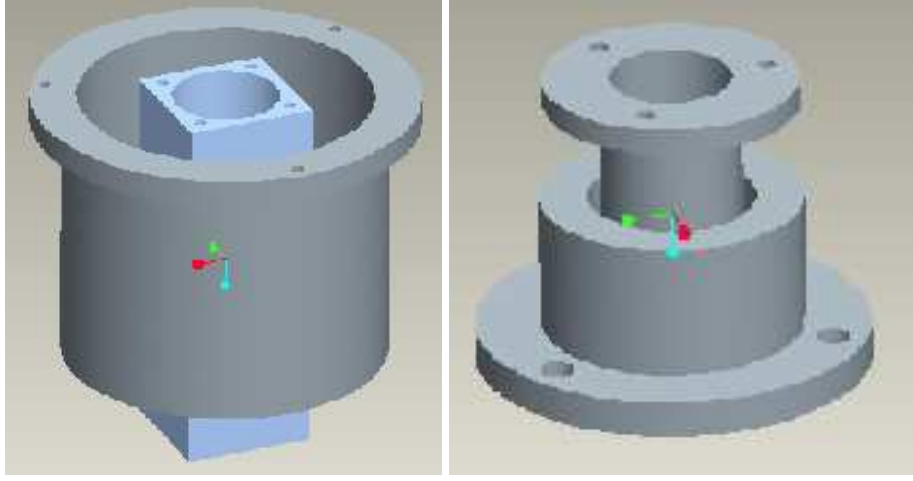
#### **4.1.2. Kuvvetin uygulanması**

Sertlik standardı oluşturulurken uygulanacak kuvvet miktarının oluşturulması kadar, kuvvetin uygulanma yöntemi de önemlidir. Aynı kütlenin salınarak, döndürülerek, titreştirilerek, hızlı yada yavaş uygulanması halinde oluşturulacak izler arasında ciddi farklılıklar olacaktır. Bu durum bir sertlik standardı oluşturma konusunda ciddi sorunlar yaratacaktır.

Kuvvetin uygulanması esnasında uyulması gereken esaslardan biri kuvvetin salınmadan uygulanmasıdır. Kuvvetin salınmadan uygulanması için kuvveti uygulayacak mekanizmanın, yani kütleleri taşıyan kefenin yataklanması düşünülmüştür. Bu yataklama sonucunda ise herhangi bir sürtünmenin oluşmaması yani ucun üzerine etki eden net kuvvetin değişmemesi gerekmektedir. Bunun için hem kefeyi yataklamak hem de aynı zamanda sürtünme oluşmaması için hava yatakları kullanılması düşünülmüştür. Kuvvetin salınmadan uygulanabilmesi için ise, kütleleri taşıyan kefenin iki uç noktasından hava yataklarıyla yataklanması gerekmektedir. Böylelikle iki noktadan yataklanan kefe salınım hareketi yapmayacaktır.

Kefenin dönme hareketi de yapmaması gerekmektedir. İki ucundan hava yataklarıyla yataklanan kefe, ayrıca dönme hareketine karşı da yataklanmalı, ama ayrı bir yataklama mekanizması zor olacağından, kefenin iki ucunda bulunan ve kefenin yataklanmasında kullanılan hava yataklarından birinin kare şekilli olmasına karar verilmiş ve kefenin yükleme esnasında herhangi olası bir dönme hareketine karşı önlem alınmıştır. Burada hava yataklarının sadece birinin kare şekilli olması, dönme hareketini engellemek için yeterli olabileceği gibi, iki hava yatağının merkezlenmesi ve eksenel ayarlamalarının

koaylaşması açısından önemlidir. Biri kare diğeri silindirik olan bu hava yatakları kullanılarak çok daha kolay aksel kaçıklıklardan kurtulunmuş olunur. Kuvvet uygulama sisteminde kullanılacak kefenin yataklanması için kullanılan hava yatakları aşağıda Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Sertlik Standardı Makinesi’nde kefenin yataklanması için kullanılan biri kare (solda) diğeri silindirik (sağdaki) iki adet hava yatağı

#### 4.2 Dalma Derinliğinin Ölçülmesi

Daha önce de bahsedildiği gibi sertlik ölçümü iki adımdan oluşur: Bu adımlar izin oluşturulması ve ikincisi iz büyüklüğünün ölçülmesiydi. Her iki adım da standardize edilmiş koşullar altında gerçekleştirilir. Sertlik ölçümlerinde izin oluşturulması sertliğin ölçümü açısından çok önemlidir.

İzin oluşturulma yöntemleri ve standardizasyonu kadar izin ölçülmesi de önemlidir. İz ne kadar doğru ve standardına uygun oluşturulursa oluşturulsun, eğer dalma derinliği yanlış yada yeteri kadar yüksek bir doğrulukla ölçülemiyorsa bu sertlik ölçümü doğru gerçekleştirilmiş olmaz, bu ölçüğü oluşturan cihaz ise yüksek metrolojik vasıflara sahip Sertlik Standardı Makinesi olmaz. İz ölçme sistemi makinenin performansını doğrudan etkileyen ve daha önce bahsi geçen dört parametreden biridir. Bu parametrenin oluşturulması diğer sertlik ölçeklerine oranla Rockwell Sertliği’nde daha kolaydır.

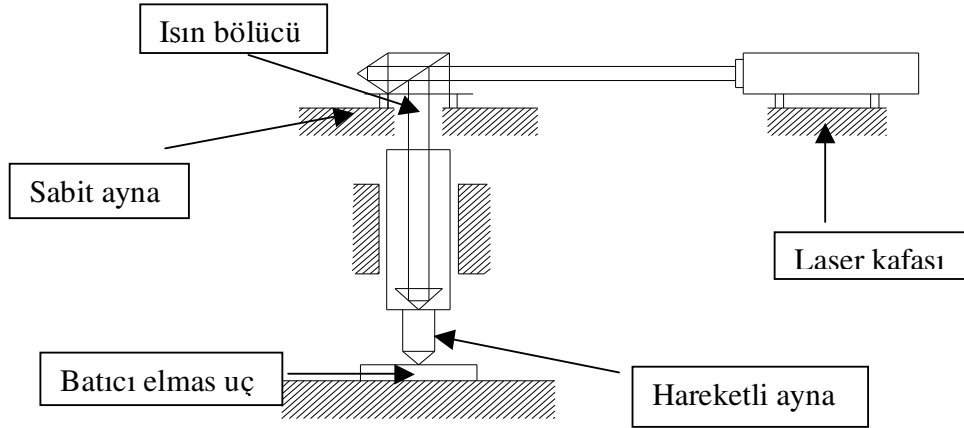
Her sertlik ölçęinin iz oluşturma yöntemi farklı olduğu gibi iz ölçme sistemi ve prensibi de farklıdır. Brinell ve Vickers sertliklerinde oluşturulmuş kare veya daire şekilli izlerin köşegen veya çap uzunlukları ölçülür. Rockwell ve daha bir çok sertlik ölçęinde izin büyüklüğü olarak ucun dalma derinliği, ucun belirli koşullar altında malzemeye ne kadar girdiği ölçülerek sertlik değeri bulunmuş olur.

Rockwell Sertliği prensibi gereği Rockwell Sertlik Standardı oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerin başında ucun malzemeye dalma derinliğinin çok hassas ve doğru ölçülmesi gelmektedir. Bu tasarımda ucun dalma derinliğini ölçebilmek için ucun test boyunca gözlemlenmesi yani takip edilmesi gerekmektedir. Çünkü prensibe göre ucun ön yük uygulandıktan sonraki pozisyonu ile ek yük uygulanıp kaldırıldıktan ve tekrar ön yüke dönüldükten birkaç saniye sonraki pozisyonu arasındaki dalma derinliği söz konusudur. O zaman burada yapılabilecek olası uygulamalardan bir tanesi ucu takip etmek ve ucun bu zaman dilimi içerisindeki yer değiştirmesini bulmaktır. Bunun için çeşitli sensörler kullanılabilir. Bu sensörlerden bir tanesi mesafe ölçümlerinde kullanılan LVDT mesafe ölçüm sensörüdür. Bu tip sensörler ucun hareketini takip edebilmek için uç ile sürekli temas halinde olmalıdır. Bu durumda ön yükün bir paraçası olan uca temas edecek probun hem iyi kalibre edilmiş ön yüke kuvvet açısından bir etkisi olabileceği gibi, olası bir eksen kaçıklığının boyutsal ölçüm açısından da olumsuz etkiler yaratacağı durumlar oluşabilir. Bunun için ölçümün eksen kaçıklıklarından etkilememesi için eksen ayarlarının iyi yapılması ve probun ekseninin ucun eksenini ile çakışması sağlanmalıdır.

Bu tasarımda eksen ayar problemlerinden kurtulmak ve daha doğru ve hassas ölçüm yapabilmek için yukarıda anlatılan LVDT sistemi yerine, temassız, daha doğru ve daha hassas bir ölçüm sistemine karar verilmiştir. Her alanda kullanımı giderek yaygınlaşan laser enterferometre optik sistemi kullanılarak hem uca temas etmeden hem de daha hassas ve daha doğru ölçüm yapılmış olunacaktır. Bu tasarımda laser enterferometre optik sisteminin kullanılması kaçınılmazdır çünkü bu makinenin tasarım amacına çok uygun bir seçimdir, zira makine birincil seviyeli yani sertlik alanında en yüksek metrolojik vasıflara sahip bir cihaz olacağı, dolayısıyla bu tasarımda yapılacak her türlü ölçümün son derece

düşük bir belirsizlik ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bilinen doğruluğu en yüksek mesafe ölçüm cihazı da laser enterferometre optik sistemidir.

Rockwell Sertlik Standardı Makinesi ISO 6508-3 (Metallic Materials – Rockwell Hardness Test – Part 3: Calibration of Reference Hardness Blocks (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) Standardına göre blok kalibrasyonu yapmak üzere tasarlandığı için makinenin en azından standartta belirtilen koşulları sağlaması gerekmektedir. İlgili standarda göre dalma derinliğinin en az 0.0001 mm çözünürlük ve en çok  $\pm 0.0002$  mm belirsizlikle ölçülmesi gerekmektedir. Bu bir minimum koşul olup tasarımda hedeflenen makinenin birincil seviye olması hedefi için cihazın ölçüm özelliklerinin daha iyi olması gerekmektedir. Aşağıda, makine üzerine monte edilerek ucun dalma derinliğinin ölçümünün gerçekleştirileceği ölçüm şeması bulunmaktadır.



Şekil 4.3 Rockwell Sertlik Standardı Makinesi dalma derinliği ölçüm prensibi

#### 4.3 Test Döngüsünün Oluşturulması

Sertlik Standardı Makinesi'nin bir standart makine olması için gereken şartların dört ana maddeden oluştuğu daha önce belirtilmişti. Kuvvet, dalma derinliği ölçümü ve ucun yanında, sertlik ölçümüne etki eden diğer bir parametre test döngüsüdür. Yapılan

araştırmalar, bir malzemenin sertliği ölçülürken takip edilen test döngüsünün de sertlik ölçümlerine etki ettiği ve kuvvet, dalma derinliği ölçümü ve ucun geometrik şeklinin yanında test döngüsünün de standardize edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Sertlik ölçümünde belirli bir kuvvet belirli bir şekle sahip uca uygulanarak belirli bir deformasyon oluşturularak ve bu deformasyonun büyüklüğü ölçülerek sertlik ölçümü gerçekleştirilir. Bu prosedür gerçekleştirilirken kuvvetin uygulanma şekli de oluşturulan izin büyüklüğünü ve şeklini etkilemektedir. İzin büyüklüğüne etki eden parametreler kuvvetin uygulanma hızı ve uygulanma zamanıdır.

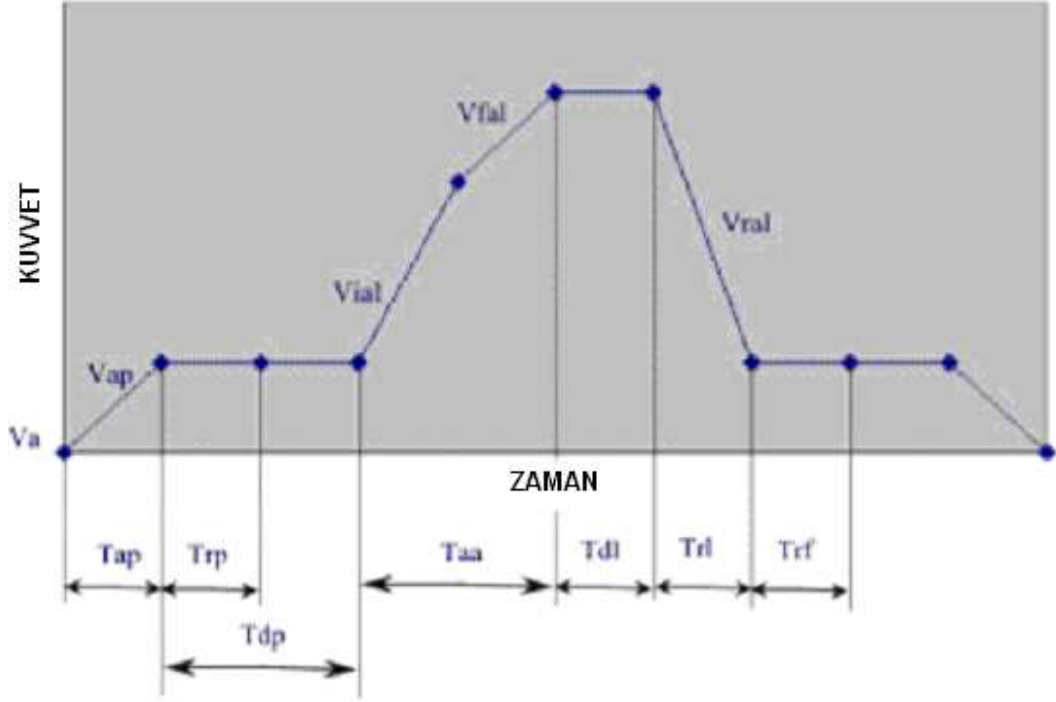
Kuvvetin uygulama hızı değişirse ucun üzerine etki ettirilerek oluşturulan izin şekli ve daha önemlisi büyüklüğü farklı olacak ve standart olmayan bir sertlik ölçümü gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu etki aynı şekilde kuvvetin uygulanma zamanı için de geçerlidir. Kısa yada uzun süreli bir kuvvetin uygulanması farklı büyüklükte izler oluşturur. Bu durumda bütün dünya tarafında kabul edilen bir test döngüsünün takip edilerek sertlik ölçümünün gerçekleştirilmesi sertlik ölçümünün standardize edilmesi açısından son derece önemlidir.

#### **4.3.1 Test döngüsünün kuvvet-zaman ilişkisi açısından değerlendirilmesi:**

Bu tasarımda Rockwell Sertliği için CCM-WGH (Consultative Committee for Mass and Related Quantities – Working Group on Hardness / Danışma Komitesi Kütle ve Türevi Büyüklükleri Sertlik Çalışma Grubu ) tarafından en son kabul edilen ve iki parametrenin kontrolünden oluşan bir test döngüsü kullanılacaktır. Bunlar kuvvetin uygulanma hızları ve kuvvetin uygulanma zamanları. Bu makinede uyulması planlanan test döngüsü prensibi grafikteki gibi yapılmaya çalışılacak, makine tamamlandıktan sonra bu döngüye uyulup uyulmadığı kontrol edilecektir. Aşağıda kuvvetin uygulanma zamanı açısından test döngüsünü ve buna bağlı olarak ucun malzeme içinde zamana bağlı hareketini görebilirsiniz.



## ROCKWELL SERTLİK TERSTİ



Şekil 4.4 Rockwell Sertliği ölçümünde kullanılacak kuvvet-zaman döngüsü

Yukarıdaki şekil ucun üzerine uygulanacak kuvvetin zamana bağlı nasıl değiştiği gösterilmektedir. Rockwell Sertliği prensibi gereği, kullanılacak ucun üzerine önce bir ön yük uygulanmaktadır. Bu malzemenin yüzey düğünsüzlüklerinin sertlik ölçümüne etkisini mümkün olduğunca azaltmak için yapılmaktadır. Böylelikle uç malzemeye belirli bir derinliğe kadar inecek ve sertlik ölçümünde asıl olarak kullanılacak dalma derinliğinin ölçüm başlangıç noktasına gelinecek ve malzemenin yüzeyinin etkisinden kurtulmuş olunacaktır. Bir Rockwell sertlik döngüsü altı adet evreden oluşmaktadır. Bu evreler ucun hareketi ile ilgili kuvvet uygulama hızı ve uygulanan kuvvetin bekleme zamanlarını içerir. Yukarıdaki şeklin bütün evrelerini detaylı bir şekilde inceleyip ucun gerçekleştirmesi gereken hareketin detayları aşağıda verilmiştir.

### I. $T_{ap}$ Evresi:

Uç belirli  $V_a$  hızı ile malzemeye yaklaşmaktadır. Bu hızın malzeme sertliği ölçümüne herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Onun için makinanın kontrol yeteneğine bağlı

olarak herhangi bir değerde olabilir. Burada bahsedilen makinanın kontrol yeteneğinden kastedilen, daha sonraki evrelerde istenen zaman ve hız gereksinimlerine uyabiliyorsa hız herhangi bir değeri alabilir.

Uç malzemeye değdiği andan itibaren, ön yük uygulanırken ucun sahip olduğu hız olan ön yük uygulama hızı  $V_{ap}$  ve ön yük uygulanırken geçen zaman dilimi için ön yük uygulama zamanı  $T_{ap}$  parametreleri önem taşımaktadır. Ön yük uygulama zamanı  $T_{ap}$ , ön yükün 1 %'i ile 99 %'u arasında geçen zaman olarak kabul edilmektedir. Her iki parametre de önemli olup, sertlik ölçümüne birincil seviyede olmasa da etki etmektedir ve kontrol edilmesi gereken parametrelerdendir.

## II. $T_{dp}$ Evresi:

Bu evrede ön yük uygulanmıştır ve beklemeye geçilmiştir. Burada  $T_{rp}$  önemli bir parametre olup ucun bulunduğu noktanın kaydedildiği (okunduğu) an olarak kabul edilmektedir. Yani uç sıfır pozisyonunda kabul edilir. Bundan sonra ek yük uygulanıp kaldırılacak ve bu uygulamadan kaynaklanan malzeme üzerine oluşturulmuş kalıcı deformasyonun ölçülmesi için kullanılacak referans noktanın okunduğu an  $T_{rp}$  olarak kabul edilen andır. Bu zaman dilimi tek başına ifade edilmez, daha genel olarak, ön yük zamanı olarak değerlendirilir ve  $T_{preload}$  olarak ifade edilir. Ön yük zamanı  $T_{preload}$ , aslında iki zaman diliminin birleşkesidir. Ön yük uygulama zamanı ile ön yük okuma zamanının birleşiminden oluşur ve aşağıda verilen bağıntı ile bulunur:

$$T_{preload} = \frac{T_{ap}}{2} + T_{rp} \quad (4.2)$$

Bu değer son derece önemli olup 3s olmasına karar verilmiştir.

Şimdiye kadar bahsettiğimiz parametreleri düşündüğümüzde,  $V_a$ ,  $V_{ap}$ ,  $T_{ap}$  ve  $T_{rp}$  değişkenlerdir. Yani standardize edilmiş iki adet Birincil Seviyeli Sertlik Standardı Makinesi'nin bu dört parametresi değişik olabilir, önemli olan bu parametrelerin

temsilcisi olan  $T_{preload}$ 'ın aynı ve 3s olmasıdır. Test döngüsünün işleyiş sırasına göre standardize edilen ilk parametre  $T_{preload}$ 'un nasıl kontrol edildiği daha sonra anlatılacaktır.

Bu evrede görünen ve hiç hesaba katılmayan, tamamen makinenin hareket kabiliyetine bağlı bir değişken,  $T_{dp}$ , cihaz önyükü uygulayıp ucun yerini okuduktan sonra motor harekete geçer ve e kyükü uygulamaya başlar. Bu çok az da olsa bir süreç gerektirir. Bu süreci de tanımlamak açısından, ön yükteki ucun yerinin okunması gerçekleştikten sonra, ek yükü uygulamaya başlayana kadar geçen süreyi de içine alarak ifade edilen ön yük bekleme zamanı,  $T_{dp}$ , sadece karışıklığı önlemek ve ucun hareketinin her anını tanımlamış olmak için kullanılır. Test döngüsü kontrolünde herhangi bir yeri olmayıp ölçüme etkisi yoktur.

### **III. $T_{aa}$ Evresi:**

Test döngüsünün 3. evresinde ön yük uygulanmış, bekleme zamanı aşılmış ucun malzeme içindeki yeri okunmuş -belirlenmiş- ve artık ek yükün uygulanma zamanı gelmiştir ve ekyük uygulanır. Bu evrede iki değişken önemlidir; ek yükün uygulama hızı ve uygulama zamanı. ISO 6508-3 Standardı'na göre ek yük uygulama zaman  $T_{aa}$ 'nın 2-8 saniye arasında olması gerekmektedir. Standart aynı zamanda hız ile ilgili bir sınırlama getirmiş, toplam kuvvetin %80'i ile %99'u arasında yükün uyuygulama hızı 0,02 mm/s - 0,04 mm/s arasında olması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar uygulanan toplam kuvvetin sonlarına yaklaşırken kuvvet uygulama hızının sertlik ölçümünde çok etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle CCM-WGH (Consultative Committee for Mass and Related Quantities – Working Group on Hardness / Danışma Komitesi Kütle ve Türevi Büyüklükleri Sertlik Çalışma Grubu ) bu değerlerde değişiklikler yapmış ve uygulanan toplam kuvvetin %80'i ile %99' arasında kuvvet 0,03 mm/s hızıyla uygulanmasına karar vermiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir olay, kuvvetin uygulanma hızı ve zamanı bağımlı değişkenlerdir. Hız değişirse zaman da değişiyor, tam tersi de mümkündür. Bu

durumda cihazın kontrol mekanizması önemli olup, hem ekyükün 2-8 s arasında yüklenmesi, hem de kuvvetin son bölümünün (%80-%99) uygulanma hızının 0,03 mm/s gibi yavaş bir hızla gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu durumda bu probleme yapılacak en iyi yaklaşım ek yükün uygulanmasının kesintisiz bir şekilde iki aşamada gerçekleştirilmesidir. Birinci aşamada kuvvet hızlı bir şekilde yüklenmeye başlanır yani ek yükün başlangıç uygulanma hızı  $V_{ial}$  fazlaca olur ve zamandan kazanılmış olur ve yükün %80'i yüklenmiş iken ikinci aşama başlar ve kuvvet yükleme son hızı  $V_{fal}$  0,03 mm/s'lere indirilebilir. Bu durumda hem ekyük 2-8 s içinde yüklenmiş olur hem de kuvvetin son bölümü (%80'i - %99'ı) 0,03 mm/s hızıyla yüklenmiş olur.

#### **IV. $T_{dl}$ Evresi:**

Test döngüsünün bu bölümünde artık toplam yük uygulanmıştır ve toplam yükün malzemeye uygulanmış halde tutulması gerekmektedir. Burada herhangi bir hareket olmadığı için hız kavramından söz etmeyeceğiz. Sadece toplam yükün ucun üzerinde tutulması gereken bir süre olup toplam yükün 99%'una ulaşılan ilk andan itibaren sayılmaya başlanır, toplam yüke ulaşılır, ve toplam yük kaldırılırken tekrar toplam yükünü 99%'una ulaşıldığı ana kadar sayılır. Bu zaman dilimine toplam yükü bekletme zamanı  $T_{dl}$  olup bu zaman diliminin 5 s olması gerekmektedir. Değişik zamanlamalarla yapılan ölçümler toplam yükü bekletme zamanının sertlik ölçümlerine önemli etkisi olduğunu göstermiş ve Rockwell Sertliği test döngüsünde yer alan bu bölümün 5 s ile bütün dünyada standardize edilmesine karar verilmiştir.

#### **V. $T_{rl}$ Evresi:**

Toplam -yada ek yük- uygulanmış artık tekrar önyüke dönülmeye karar verilmiştir. Burada bahsedeceğimiz iki parametrenin ek yük kaldırma zamanı  $T_{rl}$  ve ek yük kaldırma hızı  $V_{ral}$ 'nin sertlik ölçümlerine etkisinin olmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla toplam yükten önyüke dönülürken herhangi uyulması gereken bir zaman süreci yada bir hız değeri öngörülmemekte, makul olabilecek herhangi bir hız ile toplam yükten ön yüke dönülebileceği bilinmektedir.

## VI. $T_{rf}$ Evresi:

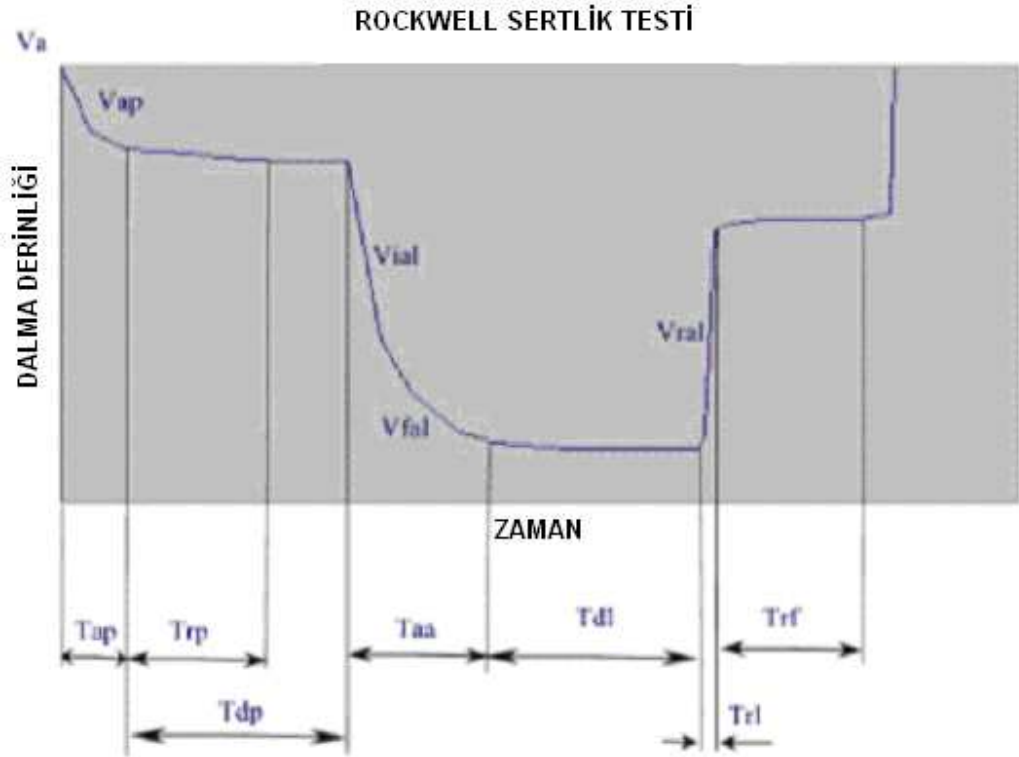
Tekrar ön yüke dönülmüştür. Artık ek yükün uygulanmasından kaynaklanan plastik - kalıcı- deformasyon oluşmuştur. Artık bundan sonra önemli olan birinci ön yük uygulandıktan sonra ve ek yük uygulanmadan önce ucun malzeme içindeki pozisyonu ile ek yük uygulanıp kaldırıldıktan sonraki ucun pozisyonu arasındaki farktır. Bu fark ucun malzeme içinde yerdeğiştirmesi, yani ucun malzeme içindeki dalma derinliği, yani malzeme üzerine oluşturmuş olduğu plastik deformasyon demektir. Ucun bu son pozisyonun okunma zamanı nedir? Buna son okuma zamanı  $T_{rf}$  denmektedir. Bu zaman dilimi de, ön yüke ek yük kaldırılarak dönüldüğü için ön yükün %101'inde başlar, %99'nda biter. Bu zaman diliminin 5s olması kararlaştırılmıştır. Bu evre tamamlanıp ucun son pozisyonu okunduktan sonra ön yük de kaldırılır ve Rockwell Sertlik ölçümü gerçekleştirilmiş olur. Aşağıda bu evrelerde standardize edilmiş parametrelerin sahip olması gereken değerler tablo şeklinde verilmiştir. Bütün bu parametrelerin kontrol altına alınması, daha tanımlı, belirsizliği daha düşük ve dünyada önde gelen benzeri cihazlarla uluslararası karşılaştırmalarda daha tutarlı sonuçlar verecektir.

Tablo 4.2 Rockwell Sertlik Ölçeği test döngüsü parametreleri

HRC Ölçeği İçin Referans Değerler					
	Test parametreleri		Referans değer	Ölçüm Başlangıcı	Ölçüm Bitimi
T.1	Ön yük uygulama zamanı ( $T_{ap}$ )	$T_{preload} = \frac{T_{ap}}{2} + T_{rp}$	3s	ön yük kuvvetinin ~1%'i	ön yük kuvvetinin ~99%'u
T.2	Ön yük okuma zamanı ( $T_{rp}$ )			ön yük kuvvetinin ~99%'u	Reading
T.5	Toplam yük bekletme zamanı ( $T_{dt}$ )		5s	toplam yük kuvvetinin ~99%'u	toplam yük kuvvetinin ~99%'u
T.6	Final okuma zamanı ( $T_{rf}$ )		4s	önyük kuvvetinin ~101%'i	önyük kuvvetinin ~99%'u
V.4	Ek yük uygulama ortalama son hızı ( $V_{fal}$ )		0,030mm/s	toplam yük kuvvetinin ~80%'i	toplam yük kuvvetinin ~99%'u

#### 4.3.2 Test döngüsünün yol-zaman ilişkisi açısından değerlendirilmesi

Kuvvet döngüsünden bahsedildiği zaman asıl kastedilen kuvvetin uygulanma hızı ve kuvvetin ucun üzerinde tutulma zamanıdır. Bu bölümde, yukarıda detaylı bir şekilde bahsettiğimiz test döngüsüne karşılık gelen ucun düşey doğrultuda yer değiştirmesinin aynı zaman parametresine göre değişimini ele alacağız. Rockwell sertlik değerini ancak bu döngüyü gözlemleyerek bulabiliriz. Yani aslında sertlik ölçümünü gerçekleştirebilmek için ucun takip ettiği yolu ve zaman parametrelerini bilmek gerekmektedir. Burada bahsettiğimiz zaman parametresi kuvvet döngüsündeki zaman parametresiyle aynı olmak zorundadır. Aşağıda verilen yol-zaman döngüsünden de çok kolayca anlaşılacağı gibi, ek yük uygulanıp tekrar önyüke dönüldüğünde, uç eski yerine gelmemekte, belirli bir fark oluşmaktadır. Bu fark ekyükün uygulanmasından kaynaklanan ve malzeme üzerine oluşturulmuş plastik deformasyondan başka bir şey değildir ve ölçülmesi gereken ve sertlik ifade edilirken kullanılacak olan büyüklük de budur. Aşağıda yol-zaman döngüsü görülmektedir.



Şekil 4.5 Rockwell Sertliği Ölçümünde oluşacak yol-zaman döngüsü

Yol-zaman döngüsünün evreleri ile kuvvet-zaman döngüsünün evreleri bire-bir aynıdır. Sadece bu evrelerin kuvvet yada yol açısından değerlendirilmeleri söz konusudur. Yukarıdaki şekilde gördüğümüz ucun malzeme içindeki hareketi, uca uygulanan kuvvetin bir sonucudur. Evreler birebir takip edilirse ucun hareketinde neler olduğunu dalma derinliği açısından çok kısaca görelim:

#### **I. $T_{ap}$ Evresi:**

Bu evrede uç harekete başlamıştır ve grafiğin değiştiği anda uç malzemeye değmiştir.

#### **II. $T_{dp}$ Evresi:**

Ön yük uygulanmıştır ve  $T_{rp}$ 'nin sonunda ucun olduğu yer referans olarak kabul edilir. Artık dalma derinliği dediğimiz ve malzemenin sertliğini bulacağımız büyüklük o noktadan itibaren ölçülecektir.

#### **III. $T_{aa}$ Evresi:**

Ek yükün uygulandığı bölümdür. Ek yükün uygulanmasından dolayı uç malzemeye daha fazla girer. Bu bölümde grafiğe ait teğetlerin eğimleri gözlemlendiğinde makinanın kuvvet uygulamasının başlangıçta hızlı, sonlara doğru yavaşladığı görülebilir.

#### **IV. $T_{dl}$ Evresi:**

Bu evrede toplam yüke ulaşılmıştır ve toplam yükün bekleme zamanı boyunca beklenir.

#### **V. $T_{rl}$ Evresi:**

Ek yükün kaldırılıp tekrar ön yüke dönülen zaman dilimidir. Grafikten de anlaşıldığı üzere yüklemedeki gibi gittikçe yavaşlayan değil, yaklaşık olarak sabit ve yüksek bir

hızla ek yük kaldırılır. Burada amaç artık görevini tamamlamış ek yükü sadece devredışı bırakmaktır. Ekyükün kaldırıldığı hızın değeri önemli değildir.

#### **VI. $T_{rf}$ Evresi:**

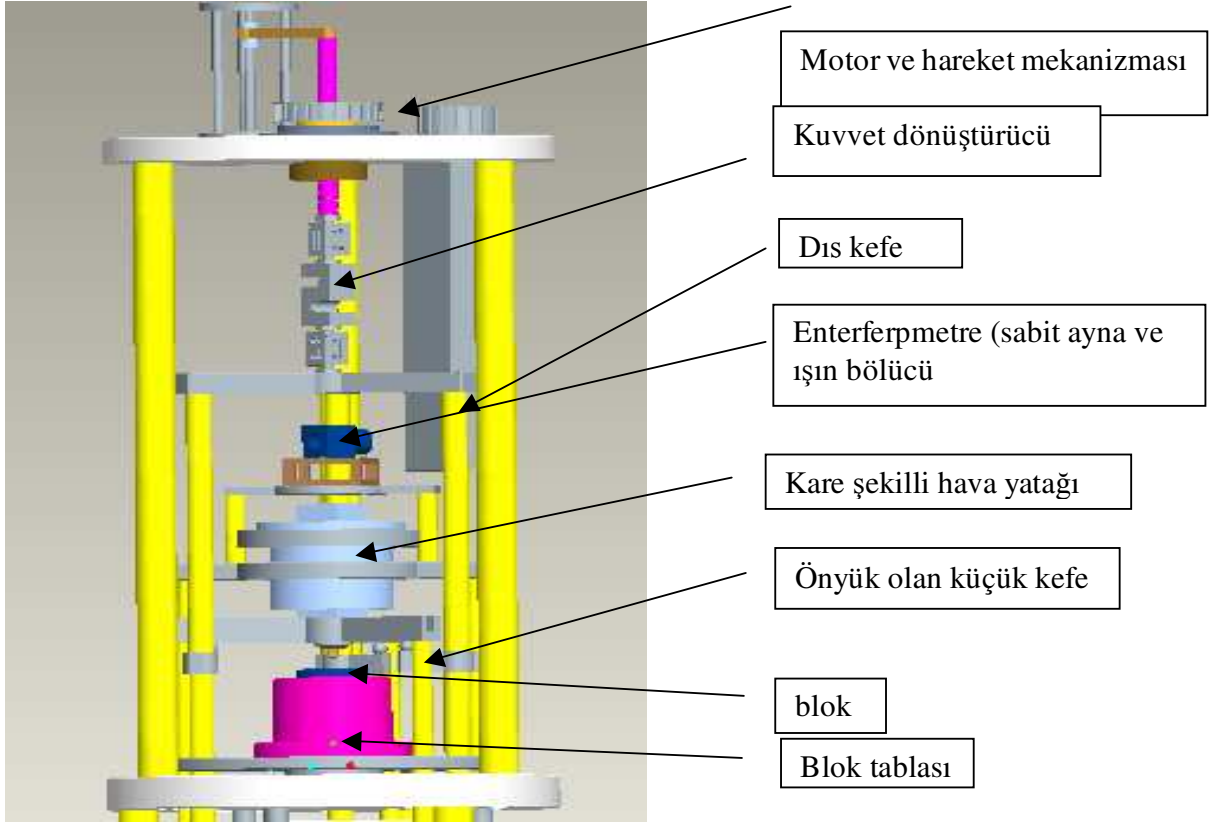
Tekrar ön yüke dönülmüştür. Burada sadece belirli bir zaman beklenip ucun bulunduğu konum belirlenmelidir.

#### **4.3.3 Test döngüsünün Rockwell Sertlik Standardı Makinesi'nde oluşturulması**

Bu bölümde yukarıda bahsettiğimiz test döngüsünün bu tasarımda nasıl uygulanacağı, kuvvetin ve dalma derinliğinin zamana göre nasıl gözlemleneceği üzerinde duracağız.

Tasarladığımız makinada kuvvet uygulama sistemi, aşağıda Şekil 4.6'de görüldüğü gibi, -biri büyük (yada dış kefe) diğeri küçük (yada iç kefe) olmak üzere- iki adet kefe, iç küçük kefeye takılı bulunan hava yataklarının iç bölümleri, uç, ucun hemen üzerindeki yansıtıcı ayna, ölü ağırlığı oluşturan kütle seti ile bu sisteme hareketi veren motor ile bu sistemin bağlantısını oluşturan kuvvet dönüştürücüsünden oluşmaktadır.





Şekil 4.6 Tasarlanan Rockwell Sertlik Standardı Makinesi'nde test döngüsünü kontrol edecek iki önemli sensör, kuvvet dönüştürücü ve enterferometrenin montajı

Yukarıda bahsettiğimiz kuvvet test döngüsünü adım adım gerçekleştirebileceğimiz tasarımımızda döngü şöyle gerçekleştirilir:

#### I. $T_{ap}$ Evresi:

Motor yukarıdaki şekilde gösterilen kuvvet uygulama sistemini( iç kefe, dış kefe ve kütleler)'i  $V_{ap}$  hızıyla aşağı doğru hareket ettirir ve öncelikle büyük kefenin taşıyıcı uçları üzerinde duran küçük kefe blok üzerine bırakılır. Küçük kefenin blok üzerine tamamen bırakıldığı, kuvvet dönüştürücüsünün gösterge değerinden anlaşılabilir. Bu olayla ön yük uygulanmış olur.

## **II. $T_{dp}$ Evresi:**

Önyük uygulandıktan sonra motor durur yada çok yavaş bir şekilde hareketine devam eder. Ama büyük kefenin üzerinde bulunan kütleleri küçük kefenin üzerine bırakmaz. Bu da ön yükün bekleme zamanı demektir.

## **III. $T_{aa}$ Evresi:**

Bu evrede motor aynı yönde hareketine devam eder ve kütle setinin büyük kefedeki küçük kefeye transfer edilmesini sağlar. Kütle transferinin tamamen gerçekleştiği yine kuvvet dönüştürücüsünden görülebilir. Kuvvet dönüştürücüsündeki ek yük kadar azalmadan anlaşılabilir.

## **IV. $T_{dl}$ Evresi:**

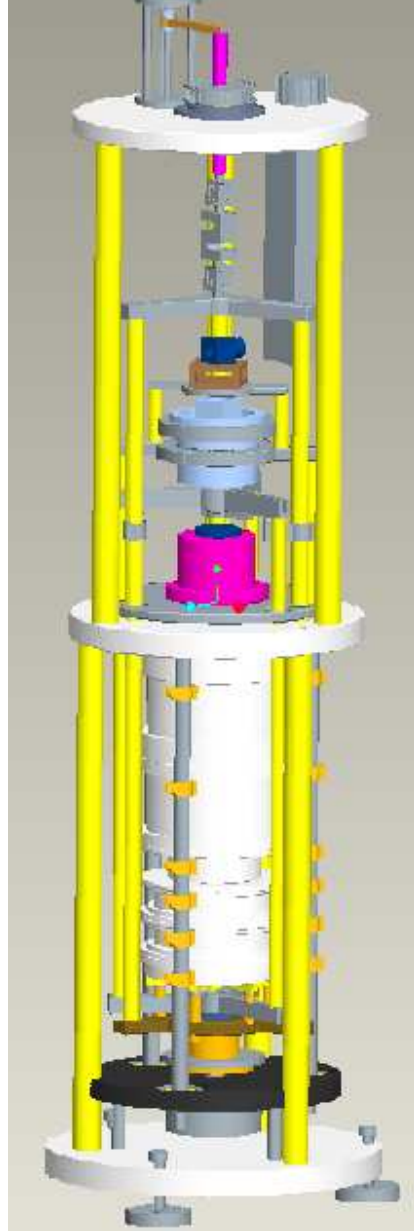
Bu evrede toplam yüke ulaşılmıştır ve toplam yükün bekleme zamanı boyunca beklenir.

## **V. $T_{rl}$ Evresi:**

Bu zaman diliminde motor ters yönde çalışır ve kütleleri küçük kefedeki büyük kefenin üzerine alana kadar yukarı hareket eder. Kütlelerin tamamen transfer edildiği yine kuvvet dönüştürücüsünden anlaşılır ve diğer bekleme zamanına geçilir.

## **VI. $T_{rf}$ Evresi:**

Tekrar ön yüke dönülmüştür. Burada sadece belirli bir zaman beklenip motorun yukarı yöndeki hareketine devam eder ve büyük kefe küçük kefeyi de üzerine almış olur. Böylelikle bir test döngüsü tamamlanmış olur.



Şekil 4.7 Tasarlanan Rockwell Sertlik Standardı Makinesi

#### 4.4. Rockwell Sertlik Değerinin Bulunması:

Test döngüsü gerçekleştirilirken kuvvet dönüştürücüsünden ve dalma derinliği ölçümünde kullanılan laser enterferometre sisteminden sürekli olarak kuvvet ve yerdeğiştirme bilgileri toplanır. Daha sonra kuvvet-zaman ve dalma derinliği-zaman

değişimleri bulunur. Bu değişimler bulunurken dikkat edilmesi gereken olay, her iki değişimde de aynı zaman göstergesinin kullanılmasıdır.

Kuvvet-zaman grafiğinden  $T_{rp}$  ile  $T_{rf}$  zamanları bulunur. Bu zaman çifti ek yükün uygulanmasıyla oluşan plastik deformasyonun ölçüldüğü zaman aralığının başlangıç ve bitişi olan zaman çiftidir. Bu zaman çiftini bulduktan sonra dalma derinliği-zaman grafiğinde ucun bulunduğu konumlar bulunur. Bu konumlar, sırasıyla, ucun ek yük uygulanmadan hemen önceki pozisyonu ile ek yük uygulanıp kaldırıldıktan sonraki pozisyonunu vermektedir. Bu iki pozisyon arasındaki fark, ucun yer değiştirmesini, yani malzeme üzerine oluşturulan plastik deformasyonu verir. Bulunan dalma derinliği Rockwell sertliği hesaplama formülünde yerine konularak sertlik değeri hesaplanır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sertlik ölçümlerinin genel prensipleri, sertlik ölçüm yöntemleri, özellikle metroloji dünyasında yer tutan ve yaygın olarak kullanılan Rockwell, Brinell, Vickers, Knoop gibi metal malzeme sertlik ölçüm yöntemleri ile Shore ve Irhd gibi plastik ve kauçuk malzemelerin sertlik ölçüm yöntemlerinin prensipleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

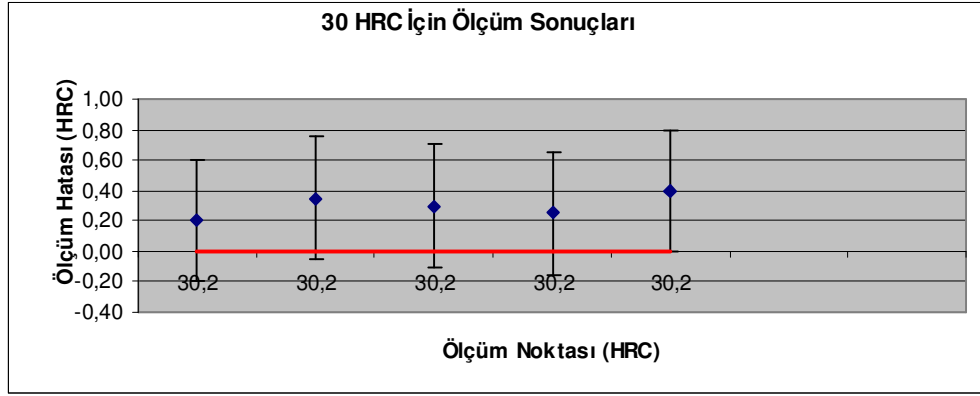
Bu çalışmanın asıl amacı henüz ülkemizde bulunmayan, dünyada ve en çok kullanılan ve sertlik ölçüm dünyasının en önemli sertlik ölçeği olarak kabul edilen Rockwell Sertliği'nin dışarıya bağımlı olmadan ülkemizdeki bütün Rockwell sertlik ölçümlerini teminat altına almak için gerekli olan Birincil Seviyeli Rockwell Sertlik Standardı Makinesi'nin tasarımını yapmaktır. Malzemenin sertlik ölçümlerine etki eden parametreler, dünyadaki diğer sertlik standartları ve sertlik ölçüm cihaz ve yöntemleri de gözönünde bulundurularak, bu çalışma kapsamında, biricil seviyeli bir makine tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bütün çalışma prensipleri belirlenmiş, cihazın sahip olması -yada olmaması- gereken bütün özellikleri detaylı bir şekilde tasarlanmıştır ve üretilmeye hazır hale getirilmiştir.

Bu tasarımın bir firma tarafından gerçekleştirilen uygulamasında en yaygın olarak kullanılan sertlik ölçeği 30 HRC, 50 HRC ve 60 HRC sertlik değerlerine sahip sertlik referans blokları üzerinde ölçümler alınmıştır. Aşağıda Tablo 5.1, Tablo5.2 ve Tablo 5.3'te makinenin 30 HRC, 50 HRC ve 60 HRC sertliğindeki referans sertlik blokları üzerinde alınan 5'er adet sertlik ölçüm sonucu verilmiştir. Bu ölçüm değerlerinin sertlik referans bloklarından sapmalarını gösteren grafikler de Şekil 5.1, Şekil5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının referans değerlere son derece yakın olduğu görülmektedir. Cihaz üzerinde çalışmalara devam ederek  $\pm 0,4$  HRC civarında olan cihazın belirsizliğinin 0,2-0,3 Rockwell birimi belirsizliğe düşürülebilir ve ülkemizin

ulusal standardı olarak uluslararası arenada dünyanın önde gelen Sertlik Standardı Makineleri ile yarışabilecek bir düzeye getirilebilecektir. Alınan ölçümlerin sonuçları aşağıda verilmiştir:

Tablo 5.1 30 HRC Referans Blok Sertlik Ölçüm Sonuçları

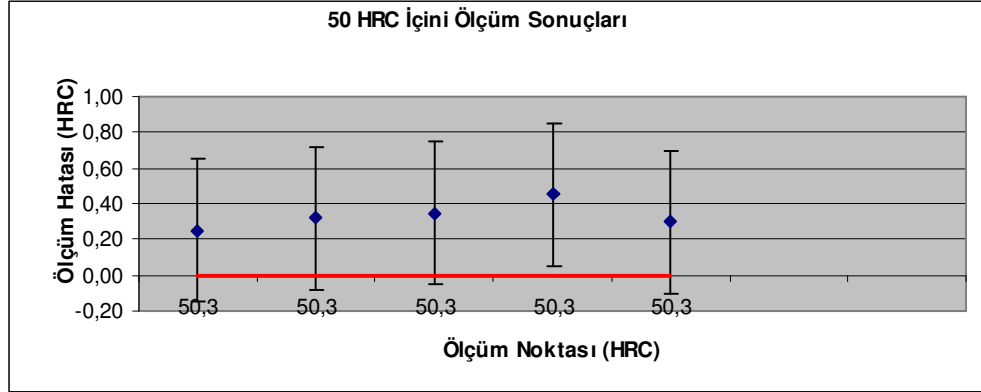
Ölçüm no	Ölçüm Değeri	Ortalama Değer	Referans Değer	Hata
1	30,40	30,50	30,20	0,20
2	30,55			0,35
3	30,50			0,30
4	30,45			0,25
5	30,60			0,40



Şekil 5.1 30 HRC Referans Blok Sertlik Ölçüm Sonuçları

Tablo 5.2 50 HRC Referans Blok Sertlik Ölçüm Sonuçları

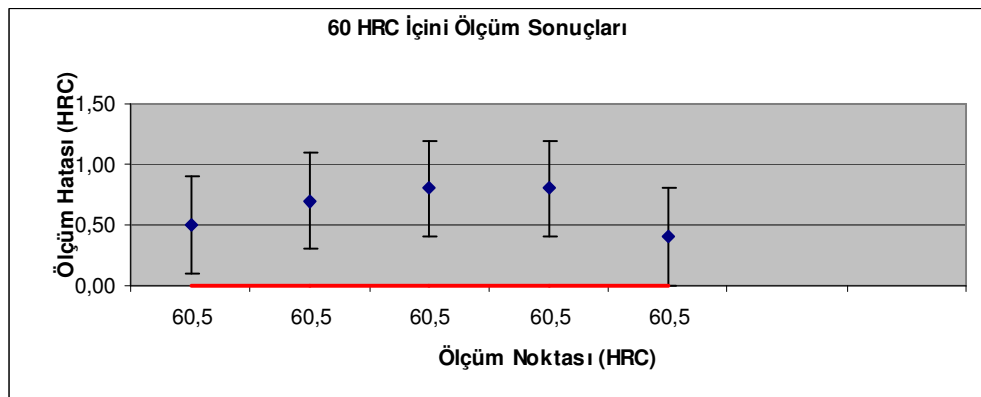
Ölçüm Değeri	Ortalama Değer	Referans Değer	Tekrarlanabilirlik	Hata
50,55	50,63	50,30	0,2	0,25
50,62				0,32
50,65				0,35
50,75				0,45
50,60				0,30



Şekil 5.2 50 HRC Referans Blok Sertlik Ölçüm Sonuçları

Tablo 5.3 60 HRC Referans Blok Sertlik Ölçüm Sonuçları

Ölçüm Değeri	Ortalama Değer	Referans Değer	Tekrarlanabilirlik	Hata
61,00	61,14	60,50	0,4	0,50
61,20				0,70
61,30				0,80
61,30				0,80
60,90				0,40



Şekil 5.2 50 HRC Referans Blok Sertlik Ölçüm Sonuçları

## **KAYNAKLAR**

1. Hiroshi, Y., Takashi, Y., 'A global standard for hardness', *IMEKO-XV World Congress*, Vol. V, 33-36,(1999).
2. Brice, L. 'The influence of indenter characteristics on hardness measurements ', *IMEKO-XVII World Congress*, June 22-27, (2003).
3. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Brinell Hardness Test - Part1: Test Method (ISO 6506-1).
4. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Vickers Hardness Test - Part1: Test Method (ISO 6507-1).
5. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials – Knoop Hardness Test - Part1: Test Method (ISO 4545-1)
6. BS EN ISO, 2003. Plastic and Ebonite - Determination of Indentation Hardness by Means of Durometer (Shore Hardness) (ISO 868).
7. LOW, S.R., 2001, Rockwell Hardness Measurement of Metallic Materials, National Institutes of Standards and Technology Special Publication 960-5
8. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Rockwell Hardness Test - Part1: Test Method (scales A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T) (ISO 6508-1).
9. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Rockwell Hardness Test - Part2: Verification and Calibration of Testing Machines (scales A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T) (ISO 6508-2)
10. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Rockwell Hardness Test - Part3: Calibration of Reference Blocks (scales A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T) (ISO 6508-3)
11. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Vickers Hardness Test - Part2: Verification and Calibration of Testing Machines (ISO 6507-2)
12. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Vickers Hardness Test - Part3: Calibration of Reference Blocks (ISO 6507-3)
13. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Brinell Hardness Test - Part2: Verification and Calibration of Testing Machines (ISO 6506-2)



14. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Brinell Hardness Test-Part3: Calibration of Reference Blocks (ISO 6506-3)
15. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Knoop Hardness Test – Part2: Verification and Calibration of Testing Machines (ISO 4545-2)
16. BS EN ISO, 2005. Metallic Materials - Knoop Hardness Test – Part3: Calibration of Reference Blocks (ISO 4545-3)
17. ISO, 1994. Rubber, Vulcanized or Thermoplastic – Determination of Hardness (Hardness between 10 Irhd and 100 Irhd) (ISO 48)
18. European Co-operation for Accreditation, EA Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurement (EA – 10/16)
19. Ishida, H., Tsujii, M., Koshimizu, F. ‘Development of calibration device for Rockwell hardness tester’, *IMEKO-XV World Congress*, Vol. V, 65-69,(1999).
20. Affri, R., Germak, A., ‘A fully automatic indentation hardness tester for Rockwell and Brinell tests’, *IMEKO-XV World Congress*, Vol. V, 71-74,(1999).
21. ASTM, 2005. Standard test methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of metallic materials (ASTM E 18-05)

## **EK: ROCKWELL SERTLİK STANDARDININ BELİRSİZLİK BÜTÇESİ**

Bu bölümde, TÜBİTAK-UME’de tasarlanan Rockwell Sertlik Standardı Makinası’nın belirsizlik bütçesinin nasıl oluşturulacağı anlatılmıştır.

### **1. Hesaplama Yöntemi:**

Bu hesaplama yöntemi, EA-10/16 dökümanına göre sertlik ölçümlerinde belirsizlik hesaplamalarında kullanılan temel prensiplere göre yapılmıştır. Sertlik değeri, tanımlanmış standart koşullar altında bir iz oluşturma ve bu izin değerlendirilmesi sonucunda - izin derinliği, köşegen uzunluğu veya çapına göre - elde edilen değerler ile ifade edilir. Her sertlik değeri bir belirsizlik değeri ile ifade edilir ve bu değer tanımlı standart koşulların toleranslarını göz önünde bulundurarak bulunur.

### **2. Belirsizliğe Etki Eden Faktörler:**

Sertlik ölçümünde belirsizliğe etki eden faktörler 4 ayrı grupta toplanmaktadır;

- Sertliği ölçülen blok ; kalınlık, yüzey pürüzlülüğü, homojenlik, v.s.
- Sertlik Standardı Makinası; batıcı uç, sürtünme, kuvvet, zaman,yükleme hızı, v.s.
- Ortam koşulları; sıcaklık değişimleri, titreşim, darbe, v.s.
- Operatör; yanlış test metodu seçimi, v.s.

Bu faktörlerden bazılarının nominal değerleri tanımlı olup direkt kalibrasyonda ölçülebilmektedir. Bazıları ise belirli bir toleransa sahip olmayıp indirekt kalibrasyonda - sistem bir bütün olarak kalibre edildiği için- dolaylı olarak tespit edilmektedir.

### 3. Sertlik Ölçümlerinde Genel Belirsizlik Hesaplama Prosedürü:

Burada uygulanan belirsizlik hesaplama prosedürü EA-10/16 dökümanı temel alınarak oluşturulmuştur. Bu prosedüre göre belirsizlik hesaplanırken önce sertlik değeri (output) H ile onu oluşturan bileşenleri (input) arasındaki matematiksel ifade bulunur;

$$H = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

Sertlikte yukarıda gösterildiği gibi matematiksel bir modelleme yoktur sadece elde edilen deneysel sonuçlara göre ölçülen sertlik değeri ile etki eden faktörler arasında bir bağıntı bulunmuştur. Daha sonra aşağıdaki tabloda verildiği gibi sertliği etkileyen bütün faktörler listelenir.

Büyüklik $X_i$	Tahmini değer $x_i$	Standart belirsizlik $u(x_i)$	Hassasiyet katsayısı $c_i$	Standart belirsizliğe katkısı $u_i(H)$
$X_1$	$x_1$	$u(x_1)$	$c_1$	$u_1(H)$
...	...	...	...	...
$X_n$	$x_n$	$u(x_n)$	$c_n$	$u_n(H)$
Sertlik	H			$u(H)$

Burada;

$X_i$  : Belirsizliğe etki eden etmenlerdir. Daha önce belirtildiği gibi belirsizlik iki şekilde hesaplanabilir: Birincisi; direkt kalibrasyonla test edilen ve sertlik skalasının tanımında bulunan -kuvvet, uzunluk, zaman, hız gibi fiziksel büyüklüklerin katkısı ayrı ayrı dahil edilerek, ikincisi ise indirekt kalibrasyonda olduğu gibi cihazı bir bütün olarak kabul edip belirsizliğini bulmaktır. Burada cihazın belirsizliğini bulmak için her iki yöntemle belirsizlik hesabı yapıp büyüğünü almak gerekir.

$x_i$  : Belirsizliğe etki eden faktörlerin tahmini değerleridir.

$u(x_i)$  : Tahmini değerlerin standart belirsizliğidir. Burada cihazın standart tanımına uygunluğunu teyid etmek için yapılan bir belirsizlik hesabı ise tanımın toleransları alınarak bulunur. Buna da B tipi belirsizlik denir. Zira B tipi belirsizlik sadece tanıma uygunluk deklere edilirken kullanılan bir yöntemdir ve istatistiksel olmayan hesaplamalar yapılır. Direkt kalibrasyonla ilgili olarak; sertlik cihazının test edildiği ölçüm cihazlarının sertifikalarındaki belirsizlik değerleri de kullanılabilir. İndirekt kalibrasyonla ilgili olarak, blok ile ilgili yapılan belirsizlik hesabı istatistiksel işlemlere dayanmakta ve burada A tipi belirsizlik hesaplanmaktadır.

$c_i$  :  $x_i$  'e ait hassasiyet katsayısı olup herbir bileşenin belirsizliğinin toplam belirsizliğe katkısını ifade eder.

$$c_i \approx \frac{\Delta H}{\Delta x_i}$$

Burada hassasiyet katsayısının hesabı tamamen deneysel verilere dayanılarak hesaplanmaktadır bunun için de çok zaman gerektiğinden daha önce alınan ölçümler değerlendirilmektedir.

$u_i(H)$  : Tahmini değer  $x_i$  nin standart belirsizliğinin toplam belirsizliğe katkısıdır.

$$u_i(H) = c_i u(x_i)$$

Sertlikte bütün bileşenler bağımsız (uncorrelated) kabul edildiğinden toplam standart belirsizlik;

$$u^2(H) = \sum_{i=1}^n u_i^2(H)$$

Çarpım faktörü  $k=2$  için genişletilmiş belirsizlik ise;

$U = k u(H)$  ve bulunan bu belirsizlik değeri sertlik değeri ile birlikte ( $H \pm U$ ) şeklinde ifade edilir.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1974 yılında Hatay'da doğdu. 1991 yılında Samandağ Lisesinden mezun olarak ilk, orta ve lise öğrenimini Hatay'da tamamladı. 1992 yılında girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1998 yılında mezun oldu ve aynı yıl TÜBİTAK-UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) Kuvvet Ölçümleri Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya başladı. Eylül 2003'de Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.